



VITOR HUGO BORGES DA SILVA **IMPACTO DOS SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO NO
CONFORTO TÉRMICO EM EDÍFÍCIOS**



VITOR HUGO BORGES DA SILVA **IMPACTO DOS SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO NO
CONFORTO TÉRMICO EM EDÍFÍCIOS**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em engenharia mecânica realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Nelson Amadeu Dias Martins, Professor auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Dedico este trabalho aos meus pais que me permitiram chegar a esta fase e que sempre me incentivaram e encorajaram a conseguir o que pretendia.

O júri

Presidente

Professora Doutora Mónica Sandra Abrantes de Oliveira Correia
Professora Auxiliar do departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Professora Doutora Maria Fernanda da Silva Rodrigues
Professora Auxiliar do departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Professor Doutor Nelson Amadeu Dias Martins
Professor Auxiliar do departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Agradecimentos

Durante todo o período de desenvolvimento desta dissertação, beneficiei da colaboração de diversas pessoas que me ajudaram a ultrapassar dificuldades e obstáculos. Pretendo, deste modo, demonstrar a minha gratidão para com essas pessoas.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao meu orientador científico, Professor Doutor Nelson Amadeu Dias Martins, que contribuiu ativamente para a realização deste trabalho, apoiando-me incondicionalmente, dando-me diversos conselhos úteis e mostrando sempre grande disponibilidade para discussões científicas (muitas das quais deram os seus frutos).

Um grande obrigado a todos os colegas pelo apoio que sempre me deram. Agradeço em particular aos colegas mais próximos, que tantas vezes me ajudaram a resolver problemas de ordem diversa e que muito apoio e motivação me deram. O bom ambiente e o espírito de camaradagem existentes neste grupo possibilitaram também que o desenvolvimento do trabalho tenha sido realizado de uma forma bastante agradável.

Um agradecimento especial à Susana por toda a ajuda, principalmente com os textos em inglês e também à Ivone pela leitura e apreciação do documento.

Para finalizar, gostaria de agradecer à minha família por toda a sua paciência e compreensão, assim como pelo tempo que sacrificaram. Obrigado pelo vosso apoio e dedicação.

Palavras-chave

Conforto térmico, Climatização de edifícios, consumo energético, isolamento térmico, radiadores, piso radiante, expansão direta, ventilo-convectores.

Resumo

A climatização de edifícios é atualmente uma prática comum para manter o nível de conforto térmico exigido pela sociedade contemporânea. Por outro lado, o consumo energético associado aos edifícios é um problema na ordem do dia, estando bastante relacionado com o consumo energético dos sistemas de climatização.

Devido à massificação dos sistemas de climatização, as ofertas de mercado são variadas e distintas, não sendo óbvia nem a adequação das diferentes soluções às diferentes condições de utilização nem a relação custo benefício de cada uma delas. Tendo em conta os fatores expostos, propõe-se nesta dissertação de mestrado o estudo de quatro sistemas de climatização, procurando estabelecer a relação entre o custo e o conforto térmico proporcionado por cada uma delas em diferentes cenários de aplicação, recorrendo a ferramentas computacionais de simulação dinâmica de edifícios no presente caso o *software Designbuilder*.

Com este estudo procura-se encontrar a melhor forma de climatizar um determinado espaço, estabelecendo a relação custo/benefício entre o conforto térmico proporcionado e a energia consumida por diferentes sistemas de climatização, de modo a minimizá-la. O estudo tem em conta as diferentes variáveis de contexto, nomeadamente nível de isolamento térmico da envolvente, tipo de ocupação prevista.

Como principais conclusões é possível realçar a predominância dos sistemas de expansão direta em edifícios públicos, nos resultados obtidos, indo de encontro às práticas atuais.

É possível ainda afirmar que o sistema de piso radiante revela pouca eficácia em determinadas soluções construtivas.

Por último, pode-se classificar o sistema de ventilo-convectores como um sistema sensível a invernos mais exigentes, quando comparado com o sistema de expansão direta

Keywords

Thermal comfort, air conditioning of buildings, energy consumption, thermal isolation, radiators, underfloor heating, direct expansion systems, fan-coil units.

Abstract

Air conditioning of buildings is now a common practice used to maintain the level of thermal comfort required by the modern society. On the other hand, the energy consumption associated to buildings is an issue on nowadays agenda, and it is closely related to the energy consumption of HVAC systems. Due to the mass of air conditioning systems, market offers are varied and distinct and it is not obvious neither the adequacy of the different solutions to the different conditions of use nor the relationship cost benefit of each one. Taking into account the abovementioned factors, it is proposed in this master dissertation the study of four HVAC systems, seeking to establish the relationship between cost and thermal comfort provided by each one of them in different application scenarios, using computational tools for dynamic simulation of buildings, in this case the software "DesignBuilder". This study tries to find out what's the best way to acclimate a certain space, establishing the cost / benefit relationship between thermal comfort and energy consumption provided by different HVAC systems, in order to minimize it. The study takes into account the different context variables, especially the level of surrounding insulation, type of provided occupation. As main conclusions, it is possible to highlight the predominance of direct expansion systems in public buildings witch verifies the current practices. It is also possible find that the radiant floor system shows little effectiveness in some constructive solutions. At the end, the fan coil system, compared to the direct expansion system is more sensitive in terms of consumption, in what demanding winters are concerned.

Índice

Índice de tabelas.....	I
Índice de figuras	II
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento e motivação	1
1.2. Relevância do tema	1
1.3. Objetivos propostos e contribuição esperada	3
1.4. Organização da dissertação	4
2. Revisão bibliográfica.....	7
2.1. Conforto térmico	7
2.1.1. Balanço térmico do corpo humano	7
2.2. Problemática da definição de conforto térmico	10
2.2.1. Quantificação do conforto térmico	12
2.2.2. Normalização existente	19
3. Metodologia	23
3.1. Seleção dos sistemas de climatização.....	24
3.1.1. Ventilo-convectores	28
3.1.2. Piso radiante.....	32
3.1.3. Radiadores	35
3.1.4. Sistemas de expansão direta.....	37

3.2.	Fatores condicionantes	39
3.3.	Abordagem ao problema.....	41
4.	Parametrização do caso de estudo	43
4.1.	Parametrização dos espaços	44
4.1.1.	Quarto.....	44
	Quarto_Ocupação (Anexo B - Schedule B 1).....	46
4.1.2.	Escritório	47
4.1.3.	Sala de reuniões	50
4.1.4.	Auditório.....	51
4.2.	Parametrização da construção.....	55
4.3.	Parametrização dos sistemas de climatização	58
4.4.	Seleção dos parâmetros de saída	62
4.5.	Conclusão:	63
5.	Análise dos resultados	65
5.1.	Quarto.....	66
5.1.1.	Isolamento - nível I.....	66
5.1.2.	Isolamento - nível II	69
5.2.	Escritório	72
5.2.1.	Isolamento - nível I.....	72
5.2.2.	Isolamento - nível II	74
5.3.	Sala de reuniões	76
5.3.1.	Isolamento - nível I.....	76

5.3.2.	Isolamento - nível II	78
5.4.	Auditório	80
5.4.1.	Isolamento - nível I	80
5.4.2.	Isolamento - nível II	82
5.5.	Análise geral aos resultados:	84
5.5.1.	Quarto	84
5.5.2.	Escritório	85
5.5.3.	Sala de reuniões.....	86
5.5.4.	Auditório	86
6.	Conclusões.....	89
6.1.	Notas finais e trabalhos futuros.....	90
7.	Bibliografia.....	93
8.	Anexos	97

Índice de tabelas

Tabela 1 – Valores dos coeficientes a, b e c em função do tempo decorrido e do sexo do indivíduo (OROSA, 2009).	16
Tabela 2 –ASHRAE Standard recommendations (OROSA, 2009).	17
Tabela 3 –Predicted percentage of dissatisfied (PPD) based on the predicted mean vote (PMV) (OROSA, 2009)	18
Tabela 4 Inputs Quarto	46
Tabela 5 - Inputs escritório.....	49
Tabela 6 - Inputs Sala de reuniões	51
Tabela 7 - Inputs auditório	54
Tabela 8 - Tabela resumo - Ocupantes.....	55
Tabela 9 – Características da envolvente com nível I de isolamento	56
Tabela 10 - Características envolvente com nível II de isolamento	57
Tabela 11 - Template dos radiadores	58
Tabela 12 - Template Ventilador convectores.....	59
Tabela 13 - Template piso radiante.....	60
Tabela 14 -Template expansão direta.....	61
Tabela 15 – Percentagem de consumo relativa - quarto - Isolamento nível I	67
Tabela 16 - Consumo - Quarto - Nível I vs. Nível II	70

Índice de figuras

Figura 1 - Relação PPD vs PMV (CLAIA)	17
Figura 2 - Limites de conforto superiores e inferiores para as temperaturas interiores de edifícios (NICOL et al., 2010).....	21
Figura 3 - Sistemas AVAC.....	27
Figura 4 - Distribuição de temperaturas: Ideal vs. Piso radiante (LUXMAGNA)	32
Figura 5 - Instalação de piso radiante (LUXMAGNA)	34
Figura 6 - Corrente de convecção natural (CHOWIE).....	35
Figura 7 - Toalheiro (ENAT, 2011)	36
Figura 8 - Sistema <i>split</i> (NILSONSVIDAL, 2010).....	37
Figura 9 - Modelo do complexo (DesignBuilder).....	43
Figura 10 - Modelo do quarto	44
Figura 11 - Modelo do escritório	47
Figura 12 - Modelo da sala de reuniões	50
Figura 13 - Modelo do auditório.....	52
Figura 14 - Consumo - Quarto - Isolamento nível I	66
Figura 15 - Conforto - Quarto - Isolamento nível I.....	68
Figura 16 - Consumo - Quarto - Isolamento nível II	69
Figura 17 - Conforto - Quarto - Isolamento nível II.....	71
Figura 18 - Consumo - Escritório - Isolamento nível I	72
Figura 19 - Conforto - Escritório - Isolamento nível I.....	73

Figura 20 - Consumo - Escritório – Isolamento nível II.....	74
Figura 21 - Conforto - Escritório - Isolamento nível II	75
Figura 22 - Consumo - Sala de reuniões - Isolamento nível I.....	76
Figura 23 - Conforto - Sala de reuniões – Isolamento nível I.....	77
Figura 24 - Consumo - Sala de reuniões - Isolamento nível II.....	78
Figura 25 - Conforto - Sala de reuniões - Isolamento nível II	79
Figura 26 - Consumo - Auditório - Isolamento nível I	80
Figura 27 - Resultados - Auditório - Isolamento nível I - Piso radiante	80
Figura 28 - Conforto - Auditório - Isolamento nível I.....	81
Figura 29 - Consumo – Auditório - Isolamento nível II.....	82
Figura 30 - Conforto - Auditório - Isolamento nível II.....	83

1. Introdução

1.1. Enquadramento e motivação

O conforto proporcionado pelos edifícios aos seus ocupantes tem assumido um papel importante e crescente ao longo dos anos. Trata-se mesmo de uma questão de manutenção de saúde pública, uma vez que, para se conseguir um ambiente de trabalho saudável, a climatização destes espaços e os seus respetivos métodos ou estratégias deverão considerar e respeitar um determinado número de parâmetros, mantendo um nível de conforto térmico susceptível de ser benéfico para a saúde dos ocupantes de determinado edifício ou espaço, quer seja ele coletivo ou para uso particular, como é o caso das divisões domésticas. O homem tem melhores condições de vida e de saúde quando o seu organismo pode funcionar sem ser submetido à fadiga ou *stress*, inclusive térmico.

No que diz respeito à produtividade, o conforto térmico conduzirá a uma maior rentabilização de trabalho realizado por parte dos colaboradores de determinada empresa ou instituição, já que proporcionará aos trabalhadores um nível de laboração mais ativo e em condições propícias que desencadearão, conseqüentemente, uma maior rentabilidade e eficácia de ações.

A evolução e o crescimento da população, sob um ponto de vista sociológico e social, são o produto da melhoria das suas condições de vida, sempre em sintonia também com a evolução das tecnologias e o com crescimento económico subjacente. Sendo assim, tendo em conta o padrão de vida da sociedade moderna nos países desenvolvidos, a conceção de edifícios, sejam eles destinados à habitação ou aos serviços, passa a ser regida por determinados parâmetros mínimos, nos quais o conforto é uma condição e fator privilegiado.

1.2. Relevância do tema

A manutenção de determinado nível de conforto nos edifícios ganha cada vez mais importância e é um facto de extrema relevância na sociedade atual, sendo que o maior

período de tempo da população é despendida no interior de edifícios coletivos e das suas próprias habitações. A perspetiva futura aponta para um aumento desse tempo de ocupação no interior de estruturas e para um decréscimo do tempo de permanência em espaços exteriores, revelando características marcantes da sociedade atual: como o sedentarismo e o aumento da carga horária laboral em espaços interiores, devido à massificação das atividades ligadas ao sector dos serviços e da indústria.

No que concerne ao nível de conforto, podem-se referir fatores determinantes como a qualidade do ar, a iluminação, os níveis de ruído e ainda o ambiente térmico circundante nos espaços. A necessidade inerente ao ser humano de manter a temperatura interna constante (homeotermia) está estritamente relacionada com o ambiente térmico existente em determinado edifício ou espaço físico onde labora ou habita, assumindo-se, deste modo, como o fator mais relevante para o conforto geral do ser humano. Um ambiente térmico desfavorável exige um dispêndio de energia e um esforço biológico acrescentado na recuperação da homeotermia, provocando uma sensação de desconforto e de fadiga, afetando mesmo a saúde e o rendimento dos ocupantes do edifício ou habitação.

É um dado tido como certo que a arquitetura dos edifícios tem como uma de suas funções o dever de oferecer condições térmicas compatíveis ao conforto térmico humano no interior das construções, sejam quais forem as condições climáticas externas, mas também é tido como dado adquirido que se as condições térmicas ambientais causam sensação de frio ou de calor. Se o nosso organismo está a perder mais calor ou menos calor que o necessário para manter um nível confortável de temperatura, o mesmo tenta consegui-lo, com um esforço adicional. Isto mesmo representa uma sobrecarga, com queda do rendimento no trabalho, até ao limite, e sob condições de rigor excecionais, resulta na perda total de capacidade para a realização de trabalhos e/ou, em último caso, poderá provocar problemas de saúde.

Na sociedade atual, manter os edifícios dentro dos níveis de conforto desejado requer equipamentos de arrefecimento e/ou de aquecimento. Estes dispositivos térmicos exigem grandes quantidades de energia para operarem nas condições desejadas. O consumo de recursos naturais destinado à produção dessa mesma energia constitui um problema inerente ao conforto nos edifícios, provando e contribuindo para o agravamento dos problemas ambientais. O lado positivo desta questão reside no facto da sociedade atual estar cada vez mais preocupada com a pegada ambiental, com a poupança dos recursos energéticos naturais e com o fator financeiro, fator este que tem ganho cada vez mais

relevância no seio das famílias e das empresas, as quais têm acarretado custos consideravelmente mais altos nos últimos anos.

Segundo dados da ADENE, em Portugal, os edifícios são responsáveis por cerca de 30%, da fatia energética primária, cerca de 5,8Mtep (milhões de toneladas equivalente de petróleo). No mesmo documento, menciona-se que 17% da energia final é referente aos edifícios residenciais, desses 17%, 25% são destinados exclusivamente à climatização. Um cenário não muito favorável aos problemas ambientais e aos fatores económicos mencionados. (ISOLANI, 2008).

Do ponto de vista de cada utilizador a combinação de fatores como a pegada ambiental e o preço da energia é importante para uma utilização mais cuidada e racional dos equipamentos e do seu período de funcionamento. A um nível mais particular, estes fatores também impulsionam e despoletaram um estabelecimento de normas com o objetivo de promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios, tendo em conta a variação das condições climáticas externas, rentabilidade económica e o tipo de climatização a implementar em determinada situação ou caso. Em Bruxelas, a 16 de Dezembro de 2002, são instauradas exigências ao nível do desempenho energético dos edifícios, através da DIRECTIVA 2002/91/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO (EUROPEIA, 2003).

Nos estados membros da Comunidade Europeia, esta diretiva obrigou à implementação de um sistema de certificação energética (SCE), que, em Portugal também se reflete na revisão do RSECE (Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios) - (Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de Abril), do RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios) - (Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril), e no desenvolvimento de um sistema de certificação energética nacional. (EUROPEIA, 2003).

Exposto o panorama atual, o conforto está essencialmente dependente do equilíbrio entre dois grandes aspetos: procura-se a manutenção dos níveis de conforto, minimizando os consumos energéticos a ele associados. O resultado deste equilíbrio de fatores procurará satisfazer a sociedade atual, dotando-a de uma utilização racional dos recursos energéticos, associada a uma melhoria considerável do seu nível de conforto.

1.3. Objetivos propostos e contribuição esperada

A avaliação e análise do impacto tecnológico e económico de diferentes estratégias de climatização no conforto térmico percecionado revela-se como um objetivo essencial

do presente estudo. Revela-se, também, um tema bastante atual, susceptível de ser aplicado nas necessidades de conforto assumidas como adequadas pela sociedade atual. Para atingir o nível desejado de conforto térmico são necessárias determinadas condições climáticas, que nem sempre, ou mesmo quase nunca permitem por si só, de uma forma isolada, chegar a um nível de conforto térmico desejado e ideal dentro dos edifícios. Por conseguinte, e de uma forma inegável, os sistemas de climatização e a sua escolha revelam-se imprescindíveis face à diversidade de sistemas climáticos encontrados atualmente no mercado. Cada um desses dispositivos apresenta as suas vantagens e desvantagens e a escolha do sistema mais adequado torna-se uma tarefa árdua. Esta dissertação será uma contribuição e uma proposta para a correta aplicação de diferentes tipos de sistemas de climatização. Para isso será efetuada uma análise para cada sistema de climatização independentemente, em diferentes espaços físicos.

Muitos consumidores e técnicos questionam-se acerca desta problemática. Procuram, basicamente, responder à questão orientadora, a qual igualmente sustenta a temática da presente dissertação: Qual o preço do conforto térmico?

1.4. Organização da dissertação

Para responder a esta mesma problemática colocada, a seguinte dissertação encontra-se organizada em seis capítulos. No presente capítulo é efetuado um enquadramento e relevância do tema, são expostos os objetivos e, por fim, é apresentada a estrutura da dissertação.

No capítulo II, é apresentado o estado da arte, no qual são desenvolvidos os fundamentos teóricos respeitantes essencialmente a dois aspetos: o conforto térmico e a climatização de edifícios. No que diz respeito ao conforto térmico é abordado um estudo das diferentes formas de avaliação do mesmo, com o objetivo de ser possível escolher a melhor forma a utilizar no desenvolvimento deste trabalho. Serão ainda abordados, de uma forma mais detalhada, os fundamentos básicos como o funcionamento do corpo humano como máquina térmica, para, desta forma, ser possível perceber na íntegra o modo como o avaliar.

O capítulo III é o capítulo respeitante à metodologia de abordagem ao problema. Neste capítulo são expostos e analisados os temas desenvolvidos no capítulo II de forma a seleccionar o método mais adequado a abordar o problema, é também elaborada uma

discussão das variáveis condicionantes do problema de partida, por fim é exposto um pequeno resumo da abordagem à questão desta dissertação.

No capítulo IV é elaborada a parametrização do estudo, essencialmente são concretizadas todas as variáveis discutidas no capítulo II e é iniciado o processo de estruturação da metodologia de abordagem ao problema.

O capítulo V concerne à análise e exposição dos resultados obtidos. Neste capítulo são expostos os dados tratados e é elaborada uma análise dos mesmos de forma a introduzir as conclusões.

Conclusões essas que são referidas e desenvolvidas no capítulo VI.

No último item são expostas as referências bibliográficas necessárias e referenciadas ao longo desta dissertação.

.

2. Revisão bibliográfica

O conhecimento das exigências humanas de conforto térmico e de clima, associado ao das características térmicas dos materiais e meios de climatização mais apropriados a utilizar em edifícios e espaços levará a uma resposta térmica que irá atender às exigências de conforto térmico. Como no processo criativo está sempre implícita uma nova proposta, um método para a previsão do desempenho térmico, em nível quantitativo e qualitativo, esta dissertação terá como principal tópico de análise o conforto térmico, pretendendo a mesma ser um instrumento a usar para a verificação e para o possível ajuste dos instrumentos de climatização a utilizar num determinado espaço a analisar.

2.1. Conforto térmico

A intervenção humana, expressa no ato de construir os seus espaços internos e externos, altera as condições climáticas locais, das quais, por sua vez, também depende a resposta térmica dos elementos destinados à climatização de cada divisão da casa ou edifício.

As exigências humanas de conforto térmico estão relacionadas com o funcionamento do seu organismo, cujo mecanismo, complexo, pode ser, grosso modo, comparado a uma máquina térmica que produz calor segundo a sua atividade. O homem precisa de liberar calor em quantidade suficiente para que sua temperatura interna se mantenha na ordem dos 37°C — homeotermia. Quando as trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente ocorrem sem maior esforço, a sensação do indivíduo é de conforto térmico e sua capacidade de trabalho, desse ponto de vista, é máxima.

O funcionamento térmico do corpo humano e as noções do seu comportamento consoante as alterações térmicas serão de extrema importância para se proceder à explicação da noção de conforto térmico.

2.1.1. Balanço térmico do corpo humano

O homem é um ser homeotérmico. O seu organismo é mantido a uma temperatura interna sensivelmente constante, na ordem dos 37°C, com tolerâncias muito restritas, entre os 36,1°C e os 37,2°C. Em estado de enfermidade, 32°C revela-se o limite inferior para sobrevivência e 42°C o limite superior.

Os organismos homeotérmicos podem ser comparados a uma “máquina térmica”, onde a energia é obtida por fenómenos térmicos como as reações químicas internas, de entre as quais a mais importante é a combinação do carbono, introduzido no organismo sob a forma de alimentos, com o oxigénio extraído do ar através do processo da respiração. Esse processo de produção de energia interna, a partir de elementos combustíveis orgânicos, é denominado metabolismo.

O organismo, através do processo metabólico, adquire a energia necessária para o seu correto funcionamento. Apenas cerca de 20% dessa mesma energia é transformada em potencial de trabalho, seja ele físico ou intelectual. Termodinamicamente falando, a “máquina humana” tem um rendimento muito baixo, a parcela restante, cerca de 80%, transforma-se em calor, que deve ser dissipado para que o organismo seja mantido em equilíbrio.

Tanto o calor produzido como o dissipado dependem da atividade que o indivíduo vai desenvolvendo na sua atividade diária. Em repouso absoluto (metabolismo basal), o calor dissipado pelo corpo, cedido ao ambiente, é de cerca de 75 W.

Em ambientes cujas condições Termo higrométricas são variadas e variáveis no tempo, a manutenção da temperatura interna do organismo dá-se por intermédio do aparelho termorregulador. Este comanda a redução dos ganhos e/ou o aumento das perdas de calor através de alguns mecanismos de controlo.

A termorregulação, apesar de ser o meio natural de controlo de perdas de calor pelo organismo, representa um esforço adicional e, por conseguinte, uma queda de potencial de trabalho. O organismo humano experimenta sensação de conforto térmico quando perde para o ambiente o calor produzido pelo metabolismo, compatível com sua atividade, sem recorrer a qualquer um dos mecanismos de termorregulação (FROTA et al., 2001). Quando não estão reunidas as condições para o ser humano experienciar conforto térmico, o seu organismo reage instintivamente, reage e protege-se.

Reação ao frio:

Quando as condições ambientais proporcionam perdas de calor do corpo além das necessárias para a manutenção de sua temperatura interna, o organismo reage por intermédio de mecanismos automáticos – através do sistema nervoso simpático - procurando reduzir as perdas e aumentar as combustões internas no interior do organismo.

A redução de trocas térmicas entre o indivíduo e o ambiente faz-se através do aumento da resistência térmica da pele, por intermédio da vasoconstrição, do arrepio, do tremer. O aumento das combustões internas dá-se através do sistema glandular endócrino (FROTA et al., 2001).

Reação ao calor:

Quando as perdas de calor são inferiores às necessárias para a manutenção da temperatura interna constante, o organismo reage por mecanismos automáticos – através do sistema nervoso simpático - proporcionando condições de troca de calor mais intensa entre o organismo e o ambiente, reduzindo as combustões internas.

O incremento das perdas de calor para o ambiente ocorre através dos processos da vasodilatação e do processo da transpiração. A redução das combustões internas faz-se também através do sistema glandular endócrino (FROTA et al., 2001).

Vestuário:

O vestuário representa uma barreira para as trocas de calor por convecção, pois mantém uma camada, mínima que seja, de ar parado, dificultando, desta forma, as trocas por convecção e por radiação.

Em clima seco, vestuário adequado pode manter a humidade vinda do organismo através da transpiração. O vestuário funciona, portanto, como um isolante térmico mantendo, junto ao corpo, uma camada de ar mais ou menos aquecido, conforme seja mais ou menos isolante, conforme o seu ajuste ao corpo e conforme a porção de corpo que cobre. O vestuário adequado será usado em função da temperatura média ambiente, do movimento do ar, do calor produzido pelo organismo e, em alguns casos, em função da humidade do ar, assim como depende da atividade a ser desenvolvida pelo indivíduo. A roupa reduz o ganho de calor relativo à radiação solar direta, as perdas em condições

de baixo teor de humidade e o efeito refrigerador do suor. Reduz, ainda, a sensibilidade do corpo às variações de temperatura e de velocidade do ar. A sua resistência térmica depende do tipo de tecido, da fibra e do ajuste ao corpo, devendo ser medida através das trocas secas relativas de quem a usa.

A unidade, “clo”, foi criada de forma a se poder medir o vestuário em relação à sua resistência térmica ($0,155 \text{ m}^2\text{C/W}$). (FROTA et al., 2001).

As condições de conforto térmico são, portanto, o produto da junção de uma série de variáveis. Para avaliar tais condições, o indivíduo deve estar apropriadamente vestido, sem problemas de saúde nem de aclimação. É certo que as condições ambientais capazes de proporcionar sensação de conforto térmico em habitantes de clima quente e húmido não são as mesmas que proporcionam sensação de conforto em habitantes de clima quente e seco e, muito menos, em habitantes de regiões de clima temperado ou frio (FROTA et al., 2001).

2.2. Problemática da definição de conforto térmico

Ao longo do tempo, o conforto térmico tem sido alvo de muitos estudos e é igualmente de difícil definição. Hensen, por exemplo, descreve na sua obra, o conforto térmico como sendo um estado em que não há alterações comportamentais para corrigir as condições do ambiente (HENSEN, 1991).

A ASHRAE vai mais longe e diz que o conforto térmico é “a condição da mente que expressa satisfação com o seu ambiente térmico”. (ANSI/ASHRAE, 2004)

Baseado nas definições expostas acima, é possível perceber que o conforto térmico é um termo complexo de definir. Este depende de diferenças comportamentais, da cultura, e de outras variáveis individuais e sociais. O conforto térmico não pode ser descrito somente como um conjunto de condições mas também como um estado psicológico e, como tal, pode ser classificado como um processo cognitivo que envolve muitas variáveis, físicas, fisiológicas, psicológicas e mesmo psicossociais.

Pode depreender-se que, não só a definição de conforto térmico é complexa, como a partir dela se percebe que a sua quantificação é ainda mais complexa. As sensações térmicas variam de pessoa para pessoa. Os sensores, como os termómetros, apresentam sempre os mesmos resultados, desde que expostos às mesmas condições.

No caso dos indivíduos expostos às mesmas condições ambientais, podem os mesmos partilhar de opiniões térmicas muito distintas entre eles devido à combinação de determinados fatores que influenciam a percepção do ser humano. Um diagnóstico aos intervenientes é, portanto, uma ferramenta indispensável para encontrar uma avaliação global dos parâmetros de estudo.

Sendo assim, a sensação de conforto térmico, denominada por satisfação, é complexa e depende de múltiplas variáveis, algumas delas pouco tangíveis. De uma forma mais generalista, pode dizer-se que não existe uma medida absoluta para o conforto térmico e a satisfação ocorre quando a temperatura do corpo é mantida a uma determinada e estreita gama, quando a transpiração é baixa e os mecanismos fisiológicos de regulação de temperatura são mínimos. O conforto depende igualmente do comportamento do indivíduo como a atividade que desenvolve, a sua postura, e o tipo de vestuário que usa. Com tantas variáveis, poderá ser de uma enorme dificuldade medir o conforto térmico. No entanto, foram surgindo algumas propostas de quantificação generalizada de conforto térmico (DJONGYANG et al., 2010).

Em 1962, Macpherson começou por definir os fatores que afetam o conforto térmico e, para o efeito, o mesmo classificou e definiu quatro fatores como variáveis físicas (temperatura do ar, velocidade do ar, humidade relativa e temperatura média radiante), e considerou ainda outros dois fatores como variáveis individuais (o vestuário e o nível de atividade) (DJONGYANG et al., 2010).

Surgiram mais tarde estudos de avaliação ao conforto térmico, na tentativa de encontrar um equilíbrio entre o consumo energético e o conforto térmico, pois, por um lado existe a energia essencialmente obtida pela combustão do petróleo, as emissões de carbono associadas e as mudanças climáticas, por outro lado, existe o conforto térmico que em muito afeta o bem-estar, a saúde e a produtividade dos ocupantes (DJONGYANG et al., 2010).

Foram desenvolvidos índices, feitas experiências em ambientes climatizados, trabalhos de campo, estabelecendo normas e métodos de avaliação. De modo a chegar à norma que definia: a gama de temperaturas aceite satisfaz termicamente pelo menos 80% dos ocupantes de determinado espaço (CHARLES, 2003).

As organizações de estabelecimento de normas, ao nível do conforto térmico, como a ASHRAE e a ISO são quase na sua totalidade baseadas em análises teóricas

das trocas térmicas do corpo humano em regiões climáticas de meia latitude no norte da América e norte da Europa. As análises teóricas foram baseadas nas ideias de Fanger e nos seus modelos matemáticos, desenvolvidos anteriormente, com recurso a salas climatizadas, adequadas para ambientes estáticos e uniformes e ainda baseados na indiferença entre raça, idade e sexo.

No entanto, Dear and Brager (DEAR et al., 2002) observaram que as normas atuais e os modelos de suporte poderiam ser igualmente aplicados em todo o tipo de edifícios, ventilação, ocupação e zonas climatizadas, prescrevendo a ISO 7730 como a primeira norma a ser utilizada mundialmente.

2.2.1. Quantificação do conforto térmico

Tendo por base as variáveis climáticas do conforto térmico e outras variáveis, como a atividade desenvolvida pelo indivíduo considerado aclimado e saudável, o seu tipo de vestuário, tem-se desenvolvido uma série de estudos que procuram determinar as condições de conforto térmico e os vários graus de conforto ou desconforto causados pelo frio ou pelo calor. As variáveis do conforto térmico são diversas e, variando de um modo diferente algumas delas ou até todas, as considerações finais podem proporcionar sensações ou respostas semelhantes ou até iguais. Isso levou ao desenvolvimento de índices que agrupam as condições que proporcionam as mesmas respostas: os índices de conforto térmico (FROTA et al., 2001).

Na presente dissertação efetua-se uma divisão dos métodos de análise do conforto térmico em duas abordagens distintas: uma abordagem racional e uma abordagem adaptativa/empírica. A abordagem racional é caracterizada pelo facto dos seus índices resultarem essencialmente através de estudos que recorrem a câmaras climatizadas, nas quais são ajustados os diversos fatores ambientais (temperatura, velocidade do ar, temperatura das superfícies e humidade). Procede-se depois ao registo das sensações térmicas experimentadas pelos indivíduos, quando sujeitos, no seu interior, a diferentes combinações das variáveis ambientais. Pode-se afirmar que esta abordagem é sobre a qual estão assentes as principais normas aceites da atualidade.

Por sua vez, a abordagem adaptativa/empírica baseia-se na definição de critérios de conforto definidos através de pesquisas de campo, em que as variáveis ambientais são medidas diretamente nos ambientes reais onde os indivíduos desenvolvem as suas

atividades de lazer ou de trabalho e, no local, procede-se à recolha das sensações térmicas dos utilizadores dos edifícios analisados.

Abordagem racional ou de balanço térmico

Esta abordagem é baseada nas experiências de Fanger (FANGER, 1970) realizadas em câmaras climáticas, em ambiente estacionário e utilizando uma amostra de 1296 estudantes dinamarqueses. No decorrer dos estudos, os estudantes estavam vestidos com vestuário *standard*, as atividades que exerciam eram também *standard*, no entanto, estavam expostos a diferentes temperaturas. A avaliação do conforto térmico foi realizada pelos participantes utilizando a escala ASHRAE de sete pontos, compreendida entre -3, para muito frio e +3 para muito calor, tendo o valor central 0 o valor correspondente ao estado de conforto. Foi também realizado um estudo com uma abordagem um pouco diferente em que os participantes, nas mesmas condições, tiveram acesso ao controlo da temperatura e regularam-na até se sentirem termicamente neutros.

Portanto, pode-se retirar a ilação de que o modelo de Fanger (FANGER, 1970) combina a teoria do balanço térmico com a fisiologia humana, determinando a faixa de temperaturas confortáveis para os ocupantes dos edifícios.

De acordo com as teorias apresentadas, o corpo humano regula a temperatura corporal recorrendo a vários fenómenos fisiológicos como a transpiração, a regulação do fluxo sanguíneo, procurando sempre estabelecer o balanço térmico entre o calor rejeitado e o calor produzido. Na realidade, o sistema metabólico humano é bastante eficiente e capaz de manter o balanço térmico em amplas gamas de temperatura, mesmo na ausência de conforto térmico.

Para ser capaz de prever as condições para as quais a neutralidade térmica ocorre, Fanger sentiu necessidade de estudar os processos fisiológicos humanos em contacto com essa neutralidade. Determinou-se então, que, nestas condições, os aspetos fisiológicos que influenciam o balanço térmico são a taxa de transpiração e a temperatura média da pele, e determinou-se ainda que ambos são resultado do nível de atividade do indivíduo. Para encontrar a relação entre a atividade e a taxa de transpiração foram realizadas novas experiências com 183 jovens expostos a diferentes condições térmicas, mas com roupas *standard*, para se desenvolver uma relação linear. Por outro lado, foram estudados mais 20 jovens com roupas *standard*, numa câmara climática e distribuídos por 4 níveis de atividade (sedentário, baixo, médio e alto). Depois de combinados os

estudos e utilizando as equações do balanço térmico, foi obtida a equação de conforto que permite determinar as condições para as quais os ocupantes sentem conforto térmico (CHARLES, 2003).

Posteriormente, esta equação foi expandida (FANGER, 1970), mais uma vez utilizando dados de um trabalho experimental. A equação resultante descreve o conforto térmico como o desequilíbrio entre o fluxo de calor instantâneo (num dado ambiente térmico) e o fluxo de calor necessário para atingir o conforto térmico para uma determinada atividade. Esta equação relaciona as condições térmicas com a escala ASHRAE de sete pontos, originando o índice PMV (*Predicted Mean Vote*).

Este índice, de seguida, foi combinado ao PPD (*Predicted Percentage Dissatisfied*), dando origem ao modelo de Fanger PMV-PPD o qual quebrou a barreira entre a teoria da térmica e a avaliação do conforto térmico em espaços interiores em edifícios. Atualmente, é um modelo aceite, válido e muito utilizado em projetos (LIN et al., 2008).

Foi igualmente estudado por Gagge et al (GAGGE et al., 1986) outro modelo, conhecido como Modelo de dois Nodos de Pierce, o qual é um pouco mais profundo e separa o corpo em dois nodos, o núcleo e a pele, com temperaturas ótimas diferentes. Este modelo não será analisado na presente dissertação, pois apresenta-se muito mais complexo e apenas fará sentido se utilizado em regime transiente.

Após este pequeno aparte acerca do Modelo de dois Nodos de Pierce, é oportuno ainda referir que o modelo PMV-PPD de Fanger apenas é válido para analisar as respostas do corpo humano em regime permanente, sem bruscas mudanças de temperatura.

Predicted Mean Vote (PMV)

Como foi referido, este método proposto por Fanger prevê a resposta média de um grupo de pessoas de acordo com a escala de conforto térmico da ASHRAE. Os indivíduos expostos a diferentes condições térmicas em câmaras climáticas fornecem a sua opinião na escala de sete pontos, o voto médio (Mean Vote) é então obtido pelo valor médio de todas as opiniões. Fanger relacionou o desequilíbrio entre o fluxo térmico num dado ambiente com o fluxo térmico ideal para uma dada atividade obtendo a equação (LIN et al., 2008):

$$PMV = [0,303 \exp(-0,036 M) + 0,028]L = \alpha L \quad (1)$$

Na equação (1) o L representa a carga térmica e é definido como a diferença entre o calor produzido e o calor rejeitado para o ambiente por uma pessoa, mantendo os valores de conforto para uma dada atividade. O α representa o coeficiente de sensibilidade.

Para maior facilidade na obtenção dos parâmetros do PMV, a Universidade de Kansas, sob contratação da ASHRAE, desenvolveu extensas pesquisas e chegou a uma equação adaptável à maioria dos ambientes:

$$PMV = a T + b P_v - C \quad (2)$$

Na equação (2) P_v representa a pressão de vapor do ar ambiente, T a temperatura, a, b, c são coeficientes dados na tabela 1. Como critério, foi estabelecida uma zona de conforto que, em média, apresenta valores na ordem dos 26°C de temperatura e 50% de humidade relativa. O estudo incidiu sobre indivíduos de atividade sedentária, vestidos normalmente, com uma resistência térmica de 0,6 clo e estiveram expostos durante 3 horas ao ambiente.

Tabela 1 – Valores dos coeficientes a, b e c em função do tempo decorrido e do sexo do indivíduo (OROSA, 2009).

<i>Time/sex</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
1h/man	0,220	0,233	6,673
woman	0,272	0,248	7,245
Both	0,245	0,248	6,475
2h/man	0,221	0,270	6,024
woman	0,283	0,210	7,694
Both	0,252	0,240	6,859
3h/man	0,212	0,293	5,949
woman	0,275	0,255	8,620
Both	0,243	0,278	8,802

Predicted percentage of dissatisfied (PPD)

O índice PPD, como o próprio nome sugere, descreve a percentagem de ocupantes insatisfeitos, ou seja, aqueles que desejariam uma temperatura diferente daquela sentida no momento. Para obter este resultado, os ocupantes fazem uma avaliação do conforto sentido na escala de sete pontos, na qual segundo Fanger, são considerados em desconforto todas as respostas diferentes de 0 e de +/-1. Os que manifestarem estas escolhas são considerados em estado de conforto térmico.

A relação entre o PPD e o PMV é-nos dada através da equação (3):

$$PMV = 100 - 95 \exp [-(0,03353 PMV^4 + 0,2179 PMV^2)] \quad (3)$$

Esta equação revela uma perfeita simetria em relação ao valor zero (neutralidade térmica), como pode ser observado na

Figura 1. Neste mesmo gráfico pode-se verificar que, mesmo quando o PMV é nulo, existe uma percentagem de insatisfeitos, cerca de 5%, o que descreve a realidade, pois de indivíduo para indivíduo, as sensações térmicas são diferentes e torna-se impossível satisfazer as necessidades de todos, no entanto e como seria de esperar nesta situação, a percentagem de insatisfeitos é a mínima.

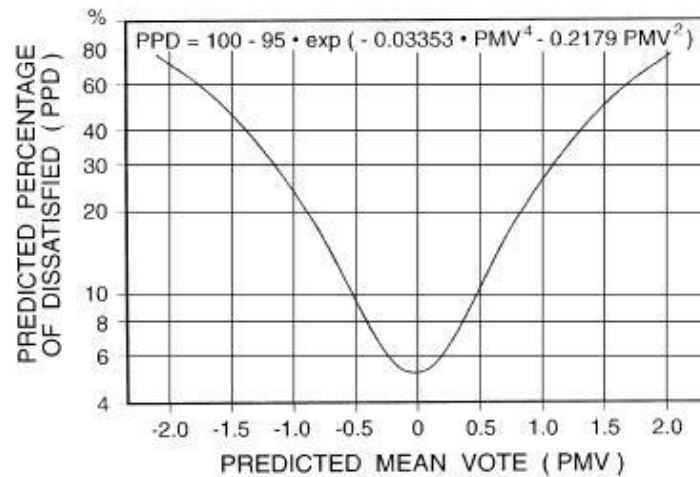


Figura 1 - Relação PPD vs PMV (CLAIA)

PPD – PMV

As normas referentes ao conforto térmico utilizam o modelo PMV para recomendar as condições de conforto. A ASHRAE apresenta, na tabela 2, a norma 55, para a qual foi considerada uma humidade relativa de 50%, uma velocidade média do ar nunca superior a 0,15 m/s, uma temperatura média radiante igual à temperatura e ainda um indivíduo com uma taxa metabólica de 1,2 met. O vestuário situa-se nos 0,9 clo no inverno e 0,5 clo no verão.

Podem-se ainda definir 3 zonas de conforto, consoante o PPD e PMV, através da norma apresentada na tabela 3

Tabela 2 –ASHRAE Standard recommendations (OROSA, 2009).

	<i>Operative temperature</i>	<i>Acceptable range</i>
Winter	22 °C	20-23 °C
Summer	24,5 °C	23-26 °C

Tabela 3 – Predicted percentage of dissatisfied (PPD) based on the predicted mean vote (PMV)
(OROSA, 2009)

<i>Comfort</i>	<i>PPD</i>	<i>Range of PMV</i>
1	<6	-0,2<PMV<0,2
2	<10	-0,5<PMV<0,5
3	<15	-0,7<PMV<0,7

Abordagem adaptativa

Este tipo de abordagem resulta através do trabalho de campo, pretendendo analisar o ambiente térmico real, assim como permite também analisar outros aspetos que não são passíveis de analisar em salas climatizadas nas quais as condições ambientais são perfeitamente controladas e estabilizadas. Esta abordagem surge com alternativa ou mesmo como um complemento à abordagem racional.

O fundamento desta abordagem assenta na descoberta de que as sensações térmicas experimentadas pelos ocupantes não são apenas fruto de fatores fisiológicos, mas também de parâmetros do foro psicológico, dos quais se destaca a expectativa que cada utilizador tem sobre as condições térmicas do edifício e sobre a sua capacidade de interação (abertura e fecho de janelas, estores, controlo da climatização, etc.), o registo de dados é, portanto, realizado nestas condições térmicas diretamente no local.

Esta filosofia de investigação foi adotada por vários autores que efetuaram vastas experiências baseados na observação dos ocupantes no seu dia-a-dia, utilizando os edifícios de uma forma normal. De entre os trabalhos apoiados numa abordagem adaptativa destaca-se o publicado por De Dear (DEAR, 2004).

A abordagem adaptativa não é mais do que uma aproximação comportamental baseada no reconhecimento do utilizador como agente ativo, face às condições térmicas oferecidas pelos edifícios que ocupa, interagindo com o ambiente (mudança do vestuário, postura, atividade física, deslocamentos, ajuste dos sistemas de climatização e janelas, etc.) de forma a atingir as condições que considera adequadas para obter a sensação térmica de conforto (DJONGYANG et al., 2010).

A interatividade associada à abordagem adaptativa representa a conhecida “oportunidade adaptativa” que cria a sensação do aumento de conforto, mesmo sem que

se verifique a alteração das condições ambientes, como pode ser verificado nos trabalhos de Baker e Standeven (BAKER et al., 1996), onde é analisada precisamente a oportunidade adaptativa e onde se retira a conclusão que, quanto maior a possibilidade de interação, maior é a adaptação às diferenças de temperatura sentidas.

2.2.2. Normalização existente

Na área do conforto térmico em edifícios podem ser encontradas diversas normas, elaboradas pela ISO (*International Organization for Standardization*), pela ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) e, mais recentemente (em 2007), pelo CEN (*European Committee for Standardization*). Através da revisão bibliográfica realizada por Almeida (ALMEIDA, 2010), às atuais normas em vigor é possível apresentar um pequeno resumo das normas mais relevantes:

ISO 7730:2005 - Ambientes térmicos moderados - Determinação dos índices PMV e PPD e especificações das condições para conforto

Esta norma aplica-se aos ambientes moderados, esta norma adota o método desenvolvido por Fanger, já exposto na presente dissertação. Esta baseia a avaliação de conforto térmico no conhecimento e na medição dos parâmetros físicos do ambiente interno: temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade e humidade do ar. Tem também em conta parâmetros pessoais: atividade desenvolvida e vestuário utilizado, determinando, desta forma, o voto médio estimado (PMV). Permite ainda o cálculo da percentagem previsível de insatisfeitos com o ambiente interno (PPD).

Esta é sem dúvida a norma ISO mais envolvente, baseada na abordagem racional. (ALMEIDA, 2010).

ISO 7726:1998 - Ambientes térmicos - Instrumentos e métodos para medição dos parâmetros físicos

O principal objetivo desta norma passa pela definição dos parâmetros físicos de ambientes térmicos e métodos de medição dos mesmos. Especifica as características mínimas dos equipamentos e dos métodos de medição dos fatores físicos caracterizadores dos ambientes internos, quer se tenha por objeto de estudo a análise do conforto térmico de ambientes moderados, ou análise do stress térmico em ambientes térmicos extremos (ALMEIDA, 2010).

ISO 8996:2004 - Ergonomia - Determinação da taxa de calor metabólico

Esta norma tem por objeto usar uma certa metodologia para determinação da taxa de produção de calor metabólico, sendo esta útil para a determinação da variável M - taxa de metabolismo - da equação do balanço térmico entre o corpo humano e o ambiente envolvente (ALMEIDA, 2010).

ISO 10551:1995 - Ergonomias de ambientes térmicos - Verificação da influência do ambiente térmico usando escalas subjetivas de julgamento

Esta norma fornece dados e bases para a construção e uso de escalas de julgamento que permitam a recolha de dados comparáveis sobre os fatores subjetivos do conforto térmico (ALMEIDA, 2010).

ISO 9920:2007 - Ergonomia de ambientes térmicos - Estimativa do isolamento térmico e resistência evaporativa de uma indumentária

Esta norma propõe métodos para a estimativa da resistência à perda de calor sensível e perda de calor latente em condições de regime permanente para diferentes indumentárias (ALMEIDA, 2010).

ANSI/ASHRAE Standard 55 2004 - Ambientes térmicos - Condições para ocupação humana

Esta norma especifica condições de aceitabilidade dos ambientes interiores para a maioria de um grupo de ocupantes que utilize o mesmo espaço, estando expostos às mesmas características ambientais, entendendo-se como maioria valores superiores a 80% das indivíduos do grupo.

Esta norma, à semelhança da ISO 7730:2005, adota também uma abordagem analítica por recurso aos índices de conforto térmico PMV e PPD.

Contudo, a norma ANSI/ASHRAE Standard 55 2004, na sua última revisão ocorrida em 2004, passou a contemplar um modelo adaptativo de avaliação do conforto térmico, restringindo a sua aplicação a edifícios que não dispõem de equipamentos de climatização - regime de funcionamento livre (ALMEIDA, 2010).

EN 15251:2007 - Parâmetros ambientais interiores para projeto e avaliação do desempenho energético de edifícios abordando a qualidade do ar, ambiente térmico, iluminação e acústica

Esta norma europeia propõe, à semelhança da norma abordada no ponto anterior, duas metodologias de conforto, uma que recorre aos índices PMV e PPD (analítica) e outra que faz uso de um modelo adaptativo que resultou do projeto de investigação europeu SCATs (*Smart Controls and Thermal Comfort*), desenvolvido em vários países europeus: Portugal (Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto), França, Grécia, Suécia e Reino Unido.

O algoritmo adaptativo apresentado por este estudo, e adotado por esta norma europeia, possibilita, para os países europeus, o cálculo da temperatura interior de conforto em função do clima exterior. Refere-se que este modelo estabelece quatro categorias de edifícios, não em função da qualidade construtiva, mas sim do tipo de edifício. Esta divisão tem efeitos nos intervalos de conforto considerados, face à temperatura de conforto calculada pelo modelo, correspondendo a um edifício de classe I um menor intervalo de conforto (maiores expectativa → menor tolerância) e a um edifício de classe III um maior intervalo de conforto, como se observa na Figura 2 (ALMEIDA, 2010).

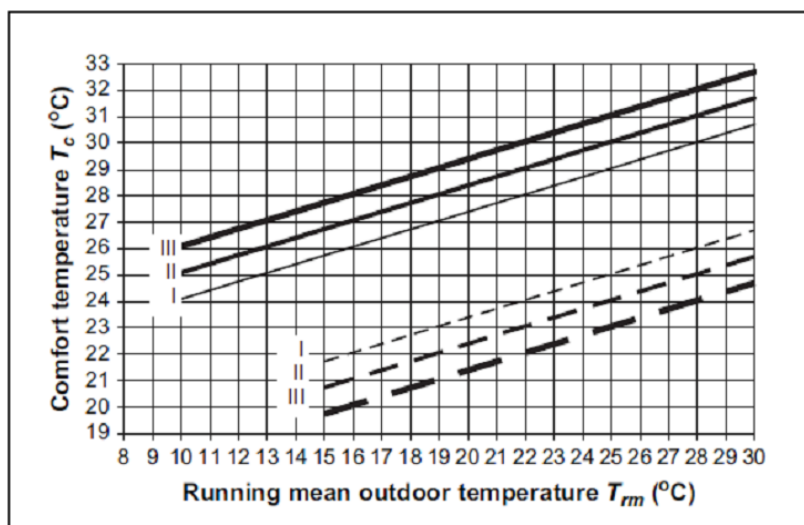


Figura 2 - Limites de conforto superiores e inferiores para as temperaturas interiores de edifícios (NICOL et al., 2010)

3. Metodologia

Analizada a bibliografia associada às questões de partida desta dissertação, verifica-se como principal problema a medição da grandeza em estudo, o conforto térmico.

Os métodos de medição do conforto térmico são alvo de estudo permanente por parte de investigadores, existindo diversas e distintas formas de o fazer, não é interessante nem razoável para a dimensão deste trabalho, desenvolver mais do que uma forma de medição. Contudo é interessante verificar, dentro das existentes, a forma mais adequada. Na essência os métodos de medição resumem-se a duas abordagens distintas: a abordagem racional e a abordagem adaptativa.

A abordagem adaptativa revela-se pouco interessante para a questão em análise, pois exige a presença física, tanto de ocupantes como dos espaços climatizados para os colocar. Além de, do ponto de vista material, esta abordagem ser desinteressante, quando é analisada do ponto de vista dos resultados, revela-se mais uma vez desadequada. Trata-se de um número reduzido de ocupantes, e como tal a influência dos fatores pessoais, na análise do conforto térmico, toma dimensões elevadas, levando a resultados irreais e dotados de parcialidade. Um estudo seguindo esta abordagem é adequado quando se pretende estudar condições específicas, e não condições gerais como é o caso. Os índices de conforto devolvidos por uma abordagem deste género não são os melhores para dar resposta às questões fundamentais desta dissertação.

A abordagem racional afasta alguns dos problemas associados à abordagem adaptativa neste caso em específico. Na abordagem racional os índices de conforto são devolvidos pelos ocupantes de câmaras climáticas criadas para o efeito que permitem combinações de fatores ambientais intermináveis. A facilidade de estudo dos mais diversos fatores desencadeia o estudo de soluções genéricas, sendo assim possível encontrar imensos estudos generalizados, seguindo esta mesma abordagem. Destacam-se os estudos de Fanger que, em resultado de diversos experimentos, chega a um importante indicador de conforto térmico, o índice PMV. Sobre este índice pode acrescentar-se que é expresso na escala de sete pontos da ASHRAE, que resulta igualmente de estudos anteriores de outros autores. Este método vai ser mais aprofundado e irá acrescentar um segundo indicador de conforto, o PPD, dando origem ao modelo PPD-PMV de Fanger.

Os estudos desenvolvidos por Gagge apresentam-se como uma alternativa aos de Fanger, respeitando, a abordagem adaptativa, pois ambos se baseiam no tratamento matemático de dados experimentais. Este último modelo tem particular interesse para situações de regime transiente e é conhecido pelo método dos dois nodos de Pirce, pois baseia o estudo na divisão do corpo Humano em dois nodos: o núcleo e a pele.

O modelo de Fanger PPD-PMV é o modelo atualmente mais aceite, inclusive é sobre o qual está assente a norma ISO 7730:2005, a qual baseia a avaliação de conforto térmico no conhecimento e na medição dos parâmetros físicos do ambiente interno: temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade e humidade do ar. Sendo assim, no decorrer dos trabalhos desenvolvidos na presente dissertação, a opção irá recair sobre o modelo PMV de Fanger pelos motivos já mencionados.

No presente estudo, outra grandeza a medir é o consumo energético, no entanto, neste caso a medição é concreta e simples, desta forma não levanta grandes questões como levanta a problemática associada à medição do conforto.

3.1. Seleção dos sistemas de climatização

A seleção dos sistemas de climatização a estudar é um ponto fulcral desta dissertação, no entanto, para a sua seleção será fundamental perceber as origens da climatização em edifícios e analisar as opções existentes para posteriormente se fazer uma escolha baseada na diversidade e na tendência de utilização.

Os equipamentos AVAC, como a sigla sugere, são equipamentos capazes de produzir um ou mais dos seguintes aspetos: aquecimento, ventilação e condicionamento de ar, tudo em prol do conforto no interior dos edifícios. Estes sistemas englobam os princípios da termodinâmica e da transferência de calor, assim como os aspetos da mecânica dos fluidos, representando um campo de atividade da engenharia mecânica.

Pode-se expor o primeiro espectro desta tecnologia, o aquecimento: Os sistemas de aquecimento existentes na atualidade são variados, quer a nível de energia utilizada, quer ao nível de eficiência, ao espectro ou ao funcionamento.

O aquecimento central é, sem dúvida, o mais frequente nos edifícios atuais. Estes sistemas são compostos por caldeiras, fornalhas ou bombas de calor como unidade central de aquecimento de água ou ar. Por norma, este equipamento encontra-se numa sala destinada ao efeito, nunca numa área habitável. São também compostos por uma

rede de distribuição de ar (tubagens) ou de água (canalizações), que estabelece a ligação entre o sistema central e os terminais de troca de calor. Estes terminais podem ser radiadores de parede, pavimento/parede/teto radiante, placas radiantes ou ventilo convetores.

No caso dos sistemas de ar, este é forçado através de condutas, condutas essas que podem ser utilizadas, durante a estação quente, pelo sistema de arrefecimento. Em sistemas deste género é comum utilizar-se tratamento do ar, podendo desta forma ter-se mais controlo sobre as propriedades do ar, tornando o ambiente mais confortável e saudável.

O aquecimento descentralizado, ou local, é essencialmente composto por sistemas independentes como aquecedores elétricos, convectivos ou não.

A ventilação é outro dos aspetos importantes nos sistemas AVAC, pois permite controlar a qualidade do ar interior desde a humidade até à presença de contaminantes e de odores. Este controlo é facilmente feito pela ventilação através da substituição do ar interior por “novo”, ou de forma menos drástica, apenas diluindo, de forma a diminuir as concentrações das partículas menos desejadas. Pode-se distinguir dois grandes tipos de ventilação: ventilação natural e ventilação forçada.

A ventilação natural diz respeito à ventilação de um edifício sem recurso a ventiladores nem outro tipo de sistema acionado mecanicamente. Existem sistemas simples e complexos. Nos sistemas simples pode-se ter apenas janelas e/ou grelhas de respiração, portas etc. A utilização deste tipo de sistema implica uma regulação manual feita através da abertura e fecho das janelas, por exemplo. Outro tipo de sistema mais complexo é o recorrer ao efeito de chaminé, estes sistemas requerem uma especial atenção na altura de construção pois, devido à sua complexidade, um projeto menos atento pode levar ao seu não funcionamento. Em termos de funcionamento, neste tipo de sistema os edifícios possuem entradas de ar na zona mais próxima do solo e saídas no cimo do edifício. Por efeito de chaminé o ar quente do interior do edifício sobe e obriga, tanto à entrada de ar novo do exterior como à saída do ar indesejado do edifício. Quando a funcionalidade destes sistemas não é suficiente, os mesmos são complementados por sistemas de ar condicionado.

Quanto à ventilação mecânica, é possível visualizar inúmeras situações no nosso quotidiano: em cafés os ventiladores de teto, nas casas de banho e cozinhas os

exaustores. Estes mecanismos permitem controlar os odores e poluentes do ar, e, em algumas situações, controlam mesmo a humidade. Uma grande desvantagem é o ruído que emitem quando estão em funcionamento. Alguns equipamentos como as ventoinhas de teto ou de pé fazem circular o ar no espaço, aumentando a convecção e a evaporação da transpiração da pele dos corpos, reduzindo, desta forma, a temperatura sentida.

Por fim, o ar condicionado, é o elemento principal da tecnologia AVAC, pois desempenha mais funções. Neste termo está implícita a regulação da humidade, o arrefecimento e a filtração do ar, para além dos aspetos referidos anteriormente. O ar condicionado apresenta soluções a nível de todas as variáveis de conforto, no entanto existem outras tecnologias AVAC que podem ser melhores soluções para determinado parâmetro de conforto, mesmo não respondendo a todas as variáveis de conforto.

O ar condicionado está associado à refrigeração e ambos remetem para a noção de remoção de calor. No entanto, um sistema integrado de ar condicionado consegue fornecer arrefecimento, aquecimento, ventilação e ainda qualidade de ar, no que diz respeito à humidade e à filtração de partículas.

Na Figura 3 é possível perceber de forma resumida a organização dos sistemas AVAC, assim como perceber algumas relações entre os termos mencionados.

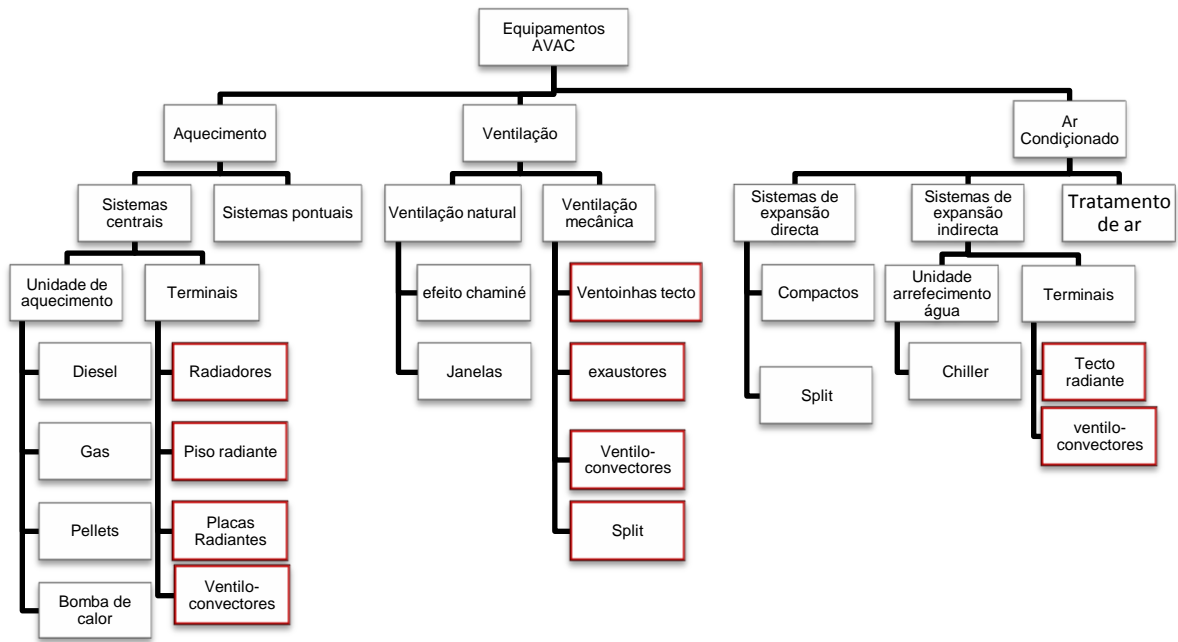


Figura 3 - Sistemas AVAC

Na Figura 3 é possível visualizar, em destaque, os terminais de sistemas AVAC. O estudo a elaborar centra-se precisamente nestes componentes. Deste modo, e na tentativa de seleccionar os sistemas a estudar, é necessário aprofundar um pouco mais o método de funcionamento destes terminais:

A principal função dos terminais é difundir a temperatura para o ambiente a climatizar. Atualmente existem essencialmente três tipos de sistemas: aqueles que difundem a temperatura por radiação, os que recorrem à convecção, e, por fim, os sistemas de insuflação de ar.

A revisão bibliográfica permitiu determinar que a forma como a temperatura é difundida é crucial para obter diferentes níveis de conforto e a divisão dos sistemas nos parâmetros expostos é a mais adequada neste contexto, onde é também determinante a escolha de pelo menos um sistema de cada tipo e que represente, de alguma forma, o grupo em que se insere.

Os sistemas radiantes têm a particularidade de transmitirem a temperatura de forma radiante e, desta forma, a noção de conforto térmico é diferente. Estes sistemas podem recorrer a diversos terminais, no entanto, os mais comuns são os pisos radiantes. Existem também placas radiantes, tectos radiantes que são mais indicados para a

transmissão de frio. Neste grupo de sistemas o piso radiante revela-se o mais abrangente, e, por conseguinte, o que mais merece estudo, sendo o terminal escolhido para representar este grupo.

Sistemas convectivos, como o nome remete, utilizam a convecção como forma de difusão do calor. Neste grupo de sistemas a diversidade de sistemas é maior, no entanto, existem duas grandes famílias de terminais, aqueles que recorrem à convecção natural, e ainda aqueles que recorrem à convecção forçada. Desta forma é importante que a escolha resida sobre um sistema de cada uma dessas famílias. Nestes casos, o terminal radiador assume importância máxima na convecção natural por ser o terminal mais utilizado e por ser o terminal do qual derivam outros, como os toalheiros, por exemplo. No que diz respeito à convecção forçada, são os ventilo-convectores que assumem mais importância, também devido à sua popularidade. Portanto, em representação do grupo convectivo, a escolha reside no terminal radiador e no ventilo-convector.

No último caso existem os sistemas de insuflação de ar. Devido à massificação dos sistemas de expansão direta, e visto que se enquadram neste grupo, o sistema selecionado é precisamente o sistema de expansão direta. Para além de se integrar neste grupo, apresenta um funcionamento distinto dos restantes.

Uma abordagem mais profunda ao funcionamento, instalação e características dos sistemas selecionados é fundamental para a sua compreensão.

3.1.1. Ventilo-convectores

Os sistemas terminais, tipo ventilo-convector, também são conhecidos por *fan-coil* na literatura inglesa, são dispositivos que funcionam tanto para aquecimento como para arrefecimento, dependendo das necessidades e da fonte energética central. Trata-se de unidades munidas de ventiladores, filtros, uma bateria de permutadores e ainda de depósitos para os condensados. Normalmente estes sistemas forçam o ar ambiente através de um ventilador, a passar no filtro para reter as partículas, por vezes misturam esse ar com ar exterior também filtrado e, de seguida, esse ar passa no permutador. Dependendo das temperaturas em causa poderá haver formação de condensados, caso se trabalhe perto da temperatura de orvalho (estação quente); nesta situação o depósito de condensados cumpre a sua função.

Existem equipamentos de diversas tipologias e configurações, podendo ficar sob o parapeito de uma janela, encastrados em paredes, sob tectos falsos, em pilares, etc. Podem também apresentar vários sistemas de controlo, como termóstatos para a temperatura, medidor da humidade, do fluxo de ar, de forma a ser possível controlar a ventilação, tanto total, como ventilação de ar “novo”.

Os sistemas mais comuns têm uma serpentina de tubos, um filtro e um ventilador que asseguram a constante circulação de ar, fazendo-o passar pela serpentina, onde se encontra água, fria ou quente, conforme a necessidade. Adicionalmente pode ainda ter outra serpentina de vapor, água quente ou mesmo resistência elétrica.

O filtro é lavável ou pode mudar-se, e protege o ventilador e a serpentina da deposição de partículas sólidas para, desta forma, a sua performance não se alterar. Este também purifica de certa forma o ar, não enviando de novo as poeiras retidas.

Quanto á renovação de ar, existem unidades com abertura para o exterior, porém, em edifícios comerciais não são permitidas, pois os ventos não permitem que haja controlo da quantidade de ar admitido, podendo originar o congelamento da água na serpentina. No entanto, devido á sua simplicidade e baixo custo inicial, são bastante utilizados em edifícios residenciais. Uma solução frequentemente utilizada é munir o edifício de outro sistema, com um sistema de ventilação central. Desta forma o ar novo não provém do exterior mas sim do sistema de ventilação, de forma controlada (ASHRAE).

Dimensionamento:

O dimensionamento destes equipamentos normalmente é feito para a carga nominal, na velocidade intermédia do ventilador, (por norma apresenta três velocidades). Este método assegura uma operação silenciosa e uma margem de segurança caso seja necessário. Existem duas situações distintas de dimensionamento, num dos casos apenas é necessário ter em conta o espaço a climatizar pelo terminal, pois a ventilação é auxiliada por um sistema central e só depois injetado no terminal, já tratado e destinado à renovação. Outra situação que se verifica é o facto de o terminal obter o ar diretamente do exterior. Nesta situação todas as cargas têm que ser consideradas no cálculo e as condições do ar exterior influenciam muito o consumo do terminal, colocando mesmo em causa o conforto térmico no interior da construção. A primeira situação é preferível à segunda em termos de custos de operação. Apesar disto, dependendo da dimensão e tipologia do edifício, pode tornar-se muito difícil e/ou dispendioso a sua instalação.

O controlo da carga é feito pela combinação da velocidade do ventilador com o caudal da água na serpentina, caudal este que pode ser controlado por termóstatos de parede ou ainda por termóstatos no ar de retorno. A velocidade do ventilador também pode ser controlada automaticamente pelo mesmo sistema, embora muitas vezes seja realizado através de um controlo manual (ASHRAE).

Instalação e manutenção:

Os ventiladores são acionados por pequenos motores, os quais, raramente ultrapassam os 300 w de potência, e apresentam múltiplas velocidades, normalmente três, uma posição *on* e outra *off*. Apesar da baixa potência, nunca devem ser ligados ao circuito de iluminação, como muitas vezes é feito, devem sim apresentar um circuito elétrico independente. É importante o circuito elétrico independente pois este permite um controlo central dos terminais, deste modo em edifícios com ocupação variável será possível centralmente desligar os equipamentos. Esta é uma solução que tem um custo inicial elevado mas, a longo prazo, é viável.

A instalação das canalizações pode tomar várias configurações, como os sistemas simples de dois tubos. Estes sistemas têm apenas uma opção de aquecimento ou uma opção de arrefecimento, visto que não é possível ter os dois em simultâneo, pois um tubo fornece a água quente ou fria e o outro faz o percurso de retorno. Contudo, alguns destes sistemas possuem uma resistência elétrica e na estação quente podem fornecer calor, se assim for necessário.

Os sistemas de quatro tubos são sistemas nos quais existe fornecimento e retorno de água fria e quente em tubagens independentes. Estes têm um custo inicial mais elevado mas apresentam a melhor opção em termos de performance, apresentam em todas as estações opção de aquecimento ou arrefecimento e não é necessária alteração sazonal da fonte de aquecimento para a opção de arrefecimento nem vice-versa, ao contrário do que acontece nas instalações de dois tubos.

No campo da manutenção existem três pontos essenciais, os filtros, os ventiladores e os condensados. Os filtros, como é óbvio, devem ser mudados ou limpos, assim que apresentem sujidade, o que depende muito do tipo de aplicação e dom local. Os ventiladores devem também ser limpos caso o filtro deixe passar sujidade relevante, e, quanto aos motores, estes raramente avariam, contudo a sua substituição, em caso de avaria, é rápida. Alguns motores mais antigos podem ainda necessitar de lubrificação. O

depósito de condensados é o ponto mais frequente de manutenção e deve ser limpo frequentemente para evitar o desenvolvimento de bactérias e de maus odores.

Este tipo de terminal não é muito seletivo quanto à fonte energética, podendo apresentar uma caldeira para aquecimento sendo, por exemplo, a *diesel*, a gás ou a *pellets*. A fonte energética para fonte fria poderá ser um *chiller*. Pode ainda apresentar uma unidade de tratamento de ar para os casos de terminais que não admitem o ar diretamente do exterior. Esta unidade de tratamento de ar, por norma, regula a temperatura também do ar (ASHRAE).

Aplicações:

Os terminais ventilo-convectores são das melhores opções para espaços individuais com necessidades de climatização. Evitam a contaminação de espaço para espaço, sendo a solução mais encontrada em hotéis, em apartamentos, e em escritórios. Também são encontrados em hospitais mas não são os sistemas ideais para essas aplicações, pois a sua filtração é de baixa eficiência e têm igualmente tendência a criar sujidade no terminal e nas proximidades (ASHRAE).

Vantagens:

A maior vantagem de um sistema de ventilo-convectores reside no seu sistema de distribuição, o qual utiliza tubos para transporte de água e pequenas canalizações de ar, em alguns casos, tornando-se um sistema muito compacto, promovendo a ventilação no local, poupando, assim, espaço no transporte da ventilação. Estes sistemas reúnem ainda as vantagens de um sistema de *chiller* com um sistema de aquecimento central, mantendo a capacidade de desativar os locais desocupados. Estes sistemas têm ainda capacidade de controlo individual com reduzida partilha do ar entre os diferentes espaços, não promovendo a contaminação de um espaço para o outro. Em termos de eficiência, este sistema pode operar a temperaturas baixas de aquecimento, permitindo o uso de soluções solares e de bombas de calor, para uma melhor eficiência energética (ASHRAE).

Desvantagens:

A elevada frequência de manutenção é sem dúvida a maior desvantagem dos ventilo-convectores. Como em arrefecimento trabalham a uma temperatura muito baixa, como acontece com algumas unidades, estes sistemas, quando atingem o ponto de

orvalho é necessário remover os condensados frequentemente, muitas vezes dando origem à propagação de bactérias, de mau cheiro e consequente poluição do ar. O problema dos condensados pode ser contornado se for utilizado um sistema central de ventilação. Esta unidade de ventilação também vai permitir a desumidificação do ar.

Caso o sistema não apresente um sistema de ventilação central, estará muito dependente da velocidade e da direção do vento. Ainda quanto à manutenção, a limpeza da serpentina é importante para a qualidade do ar e para a sua eficiência, no entanto é um processo geralmente condicionado pelo difícil acesso a este elemento (ASHRAE).

3.1.2. Piso radiante

O aquecimento do pavimento é uma das opções para se conseguir uma temperatura mais equilibrada nos edifícios. Este sistema permite que a temperatura ao nível do piso seja maior, perdendo gradualmente intensidade com a altura, permitindo, deste modo, um ambiente e uma temperatura mais confortáveis.

A título explicativo, a Figura 4 representa um comparativo entre a distribuição de temperatura ideal e a distribuição fornecida por um sistema de piso radiante:

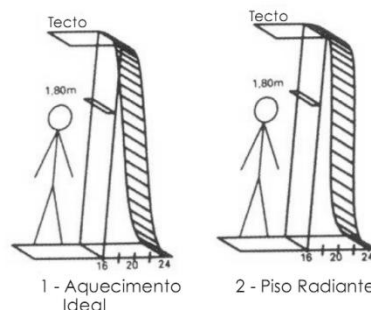


Figura 4 - Distribuição de temperaturas: Ideal vs. Piso radiante (LUXMAGNA)

Este tipo de climatização é utilizado, e recomendado para as divisões com utilização comum, como cozinhas e salas e casas de banho.

A instalação deste tipo de terminais é feita sob o pavimento, sendo, portanto, de difícil execução, e, caso seja uma instalação central por água, ainda mais complexa se torna.

O piso radiante é compatível com todas as fontes energéticas disponíveis no mercado: caldeiras (a gás, a lenha, elétricas ou a diesel), painéis solares, bombas de

calor etc. A larga compatibilidade muito se deve à grande superfície de contacto que permite uma reduzida temperatura de circulação em aquecimento, requisito essencial para sistemas solares e para bombas de calor. Neste caso, recomenda-se que a sua implementação seja feita na altura da construção da habitação.

De entre todos os sistemas existentes de aquecimento, o chão radiante oferece excelentes referências, ajustando-se ao ótimo perfil de temperaturas do corpo humano. Este perfil é aquele segundo o qual a temperatura do ar à altura dos pés é ligeiramente superior à temperatura do ar à altura da cabeça: Figura 4. Isto traduz-se na percepção de maior conforto para o utilizador do sistema.

O aquecimento por piso radiante é mais equilibrado no seu funcionamento, embora bastante mais dispendioso e portador de uma maior inércia térmica (dado que tem que aquecer o revestimento do pavimento, é mais demorado a percepção do seu efeito, sendo desaconselhável o seu uso intermitente). Mantém uma temperatura mais uniforme ao longo da altura do compartimento, embora possa surgir o “efeito de rolha” (o ar quente, subindo ao mesmo tempo em toda a superfície do compartimento, vê o seu movimento ascensional impedido pelo ar mais frio que lhe é superior e também se estende numa manta regular). Os consumos deste sistema são igualmente elevados.

Vantagens:

O piso radiante, sendo instalado no pavimento do edifício não ocupa espaço útil e, em termos de conforto, proporciona a distribuição de temperatura mais próxima do ideal, não há consumo de oxigénio, não carboniza poeiras e não resseca o ar. A distribuição da temperatura, além de próxima do ideal, na vertical, estende-se a toda a superfície horizontal, evitando a existência de zonas frias e zonas quentes no mesmo compartimento. Por fim, pelo facto de estes sistemas apresentarem compatibilidade com a totalidade dos sistemas centrais, principalmente com sistemas como bombas de calor e sistemas solares, revelam-se também bastante vantajosos do ponto de vista económico.

Desvantagens:

O elevado custo de instalação é uma das principais desvantagens, assim como a própria dificuldade de instalação (como está exemplificado na Figura 5) e, no caso de edifícios já existentes, envolve elaboradas obras, as quais poderão ser de grandes dimensões, para adaptar um sistema deste género. A elevada inércia térmica leva à

impossibilidade de intermitência, ou seja, caso se pretenda desligar uma área desocupada, voltar a aquecer essa mesma área irá consumir uma grande quantidade de energia e poderá demorar até 48 horas para novamente atingir um bom nível de conforto. Por fim, as baixas temperaturas (quentes) de circulação permitem uma maior economia de energia.

PISO RADIANTE

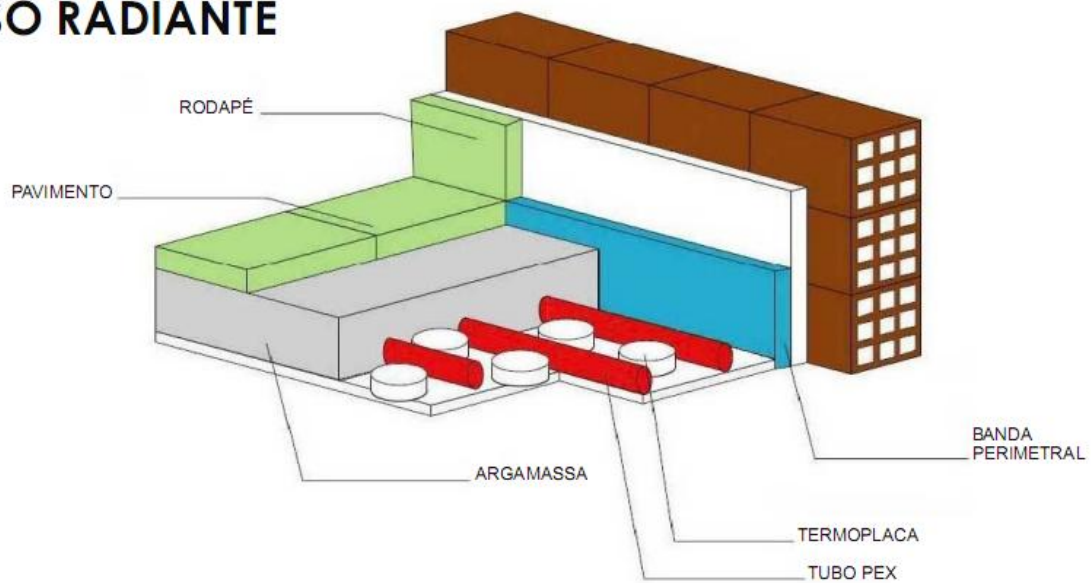


Figura 5 - Instalação de piso radiante (LUXMAGNA)

3.1.3. Radiadores

Os radiadores são o terminal mais comum e mais utilizado. Atualmente são mesmo a forma de aquecimento central mais utilizada nas instalações domésticas.

Um radiador encontra-se a uma temperatura mais elevada do que o ar circundante, e, desta forma, transfere o calor por convecção natural, criando uma corrente dentro da sala, como é demonstrado na Figura 6

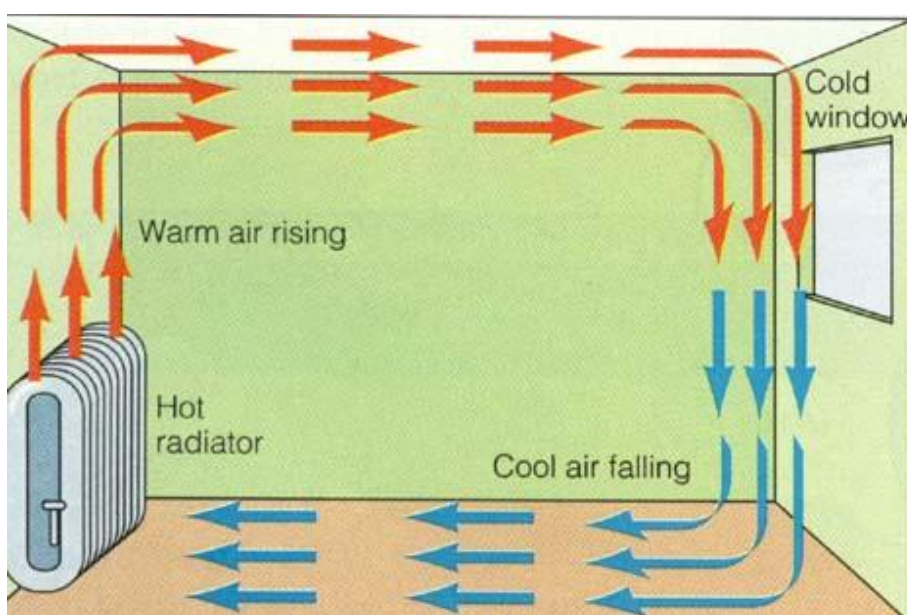


Figura 6 - Corrente de convecção natural (CHOWIE)

O aquecimento da superfície é feito pela circulação de água quente, proveniente do sistema central. No interior do radiador, a temperatura da água, ou vapor de água nunca deverá passar os 120 °C e os 600kPa de pressão (MARTINS). A troca de calor com o ambiente varia principalmente com a temperatura da água e com o design, assim como com a dimensão do radiador.

Apesar de conhecidos como radiadores, estes elementos transmitem a maior parte do calor ao ambiente por intermédio da convecção natural e da condução. Um radiador em condições normais de funcionamento apresenta uma temperatura média na

superfície inferior a 80 °C. Nestas condições o contributo da radiação para a troca de calor global é sempre inferior ao contributo da convecção (BECK et al., 2004).

No mercado existem vários modelos, de várias marcas e de diferentes formas. Normalmente, todos eles estão equipados com alhetas de modo a melhorar a troca de calor com o ar ambiente através do aumento da superfície de contacto. O material de construção pode ser de alumínio injetado, ferro fundido ou de chapa de aço.

Para diminuir custos de fabrico e aumentar a versatilidade do produto, os radiadores são produzidos em módulos. Deste modo, depois de dimensionado, na aplicação, basta juntar os módulos pretendidos e obtém-se o radiador pretendido. Este método é bastante prático, pois nos casos de dimensões não standard, a aquisição iria ser dispendiosa (MARTINS).

Existem alternativas em termos de *design* e de funcionalidade, mantendo o seu propósito e a sua funcionalidade: os toalheiros, utilizados frequentemente em casas de banho, mantêm a capacidade de aquecimento e ainda permitem pendurar toalhas, mantendo-as quentes e secas. A Figura 7 representa um terminal toalheiro.



Figura 7 - Toalheiro (ENAT, 2011)

3.1.4. Sistemas de expansão direta

Dos sistemas de expansão direta existentes destacam-se os sistemas *split*, pela sua popularidade. Os sistemas de expansão direta, como o próprio nome sugere, baseiam-se na expansão do fluido refrigerante dentro de uma serpentina em contacto com o ar a climatizar. A expansão consome depois o calor removendo-o do ar ambiente (ASHRAE).

Os sistemas *split* (separados) são compostos por duas unidades distintas, uma no interior e outra no exterior do edifício. A fase de evaporação fica no interior do edifício e a condensação no exterior. Em ambas as situações aproveita-se a unidade exterior para colocar o compressor, pois desta forma não se tem ruído associado á compressão no interior do edifício. As duas unidades são ligadas por tubos onde o fluido refrigerante circula (Figura 8).

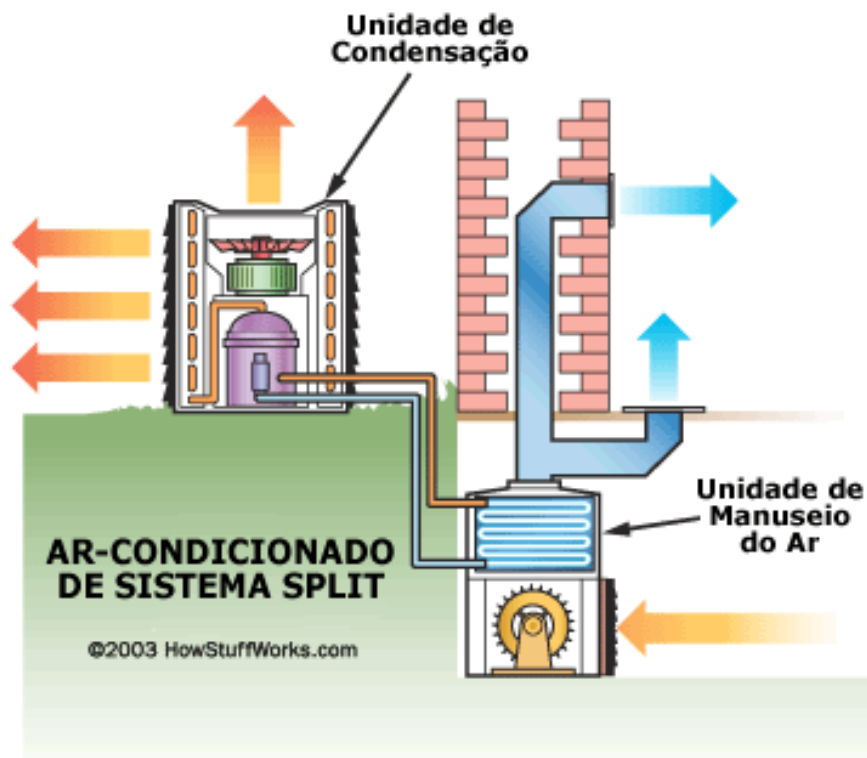


Figura 8 - Sistema *split* (NILSONSVIAL, 2010)

Um sistema do tipo *split*, consiste, portanto, numa unidade interior com ventilação de ar e controlo da temperatura. Este sistema é normalmente composto por uma serpentina de evaporação, por uma serpentina de aquecimento e por filtros. Na unidade exterior localizam-se o condensador e o compressor, os quais completam o ciclo de refrigeração (ASHRAE).

Vantagens:

Estes sistemas, apresentando uma tipologia unitária, permitem colocar o tratamento de ar no local a climatizar, poupando imenso espaço, normalmente destinado para as tubagens de ar, permitindo ainda poupar potência de ventilação (menos perdas de carga). Evitam ainda a ocupação de espaço na sala das máquinas (ASHRAE).

O facto de ser composto por duas unidades vai permitir que a rejeição de calor seja colocada remotamente ao espaço a climatizar. A unidade exterior usualmente é colocada numa área lateral do edifício, não ocupando espaço útil, porém, esteticamente, poderá ter uma apresentação desagradável, existindo, no entanto, cada vez mais soluções para contornar a componente estética e de *design*. O controlo destes equipamentos é feito através de um comando remoto, tornou-se vulgar esta prática, a qual, face aos outros sistemas, é uma grande vantagem (ASHRAE).

Desvantagens:

A permanência da unidade de tratamento de ar e ventilação no espaço a climatizar poderá dar origem a ruídos, a pequena dimensão dos equipamentos e o ciclo de funcionamento obrigam a velocidades de ar elevadas, aumentando a convecção e provocando muitas vezes desconforto térmico. A criação de condensados é outro problema associado a estes sistemas e implica manutenção, tal como os ventilo-convectores, atrás mencionados (ASHRAE).

O aquecimento fornecido por estes sistemas é feito, na maior parte das vezes, utilizando uma resistência elétrica à qual está associado um grande consumo de energia.

3.2. Fatores condicionantes

Qualquer estudo tem um significado mais relevante e abrangente se direcionado para as situações mais frequentes. Tomando este documento esta afirmação como um pressuposto e, como determinados aspetos são decididos em função desta afirmação, a presente dissertação tomará como análise o estudo de determinadas situações comuns e frequentes, as quais não serão tidas como um modo exclusivo.

Exemplo disso é a escolha dos sistemas de climatização a estudar. Os sistemas de climatização mais utilizados atualmente são os sistemas de ar condicionado, devido à sua massificada utilização nos edifícios de serviços, e os sistemas de aquecimento central predominantes nos espaços domésticos. Em função destes factos, e, na tentativa de diversificar a escolha de tecnologias, opta-se pela escolha de um terminal de expansão direta, vulgo ar condicionado, e ainda mais três terminais passíveis de utilizar num sistema central: o radiador, o piso radiante e, por fim, o ventilo-convector. Basicamente um terminal representante da tecnologia de expansão direta, um terminal que representa a difusão da temperatura por radiação, outro por convecção natural, e ainda um sistema que recorre à convecção forçada. Esta diversidade de tecnologias de operação e de transmissão de temperatura associadas ao uso atual e frequente destes sistemas justificam por si só a sua escolha para o presente estudo.

Devido à atualidade deste tema e à problemática da busca pelo nível de conforto ideal, esta dissertação pretende, assim, reduzir a dificuldade na escolha de um sistema de climatização e dá preferência ao sistema que apresentar melhor relação conforto/consumo. É claro que a escolha não é linear, existindo um determinado conjunto de parâmetros ou fatores que são condicionantes e, em função deles, a escolha poder-se-á alterar. Os principais fatores ou parâmetros condicionantes são, portanto, o espaço a climatizar, o isolamento térmico do espaço e ainda, de certa forma, a fonte energética utilizada.

O primeiro destes fatores, o espaço a climatizar, por apresentar um conjunto de parâmetros característicos, pode apresentar-se como um fator determinante no conforto térmico proporcionado pelos diferentes sistemas de climatização. Por conseguinte, a diversificação de espaços é importante neste estudo, mas não é razoável e sensato o estudo de um elevado número de espaços. Baseando-se tanto na diversificação como na frequência de determinados espaços na sociedade, é razoável considerarem-se quatro

espaços: um quarto, um gabinete de escritório, uma sala de reuniões e ainda um auditório para a leccionamento de aulas. Estes espaços, de certa forma, além de representarem espaços comuns da sociedade, apresentam-se como espaços distintos, permitindo alargar o conjunto de fatores estudados.

Tendo por base de estudo estes quatro espaços, a questão da presente tese prende-se com o impacto dos sistemas de climatização e no facto de proporcionarem conforto térmico tido como ideal. No presente estudo, procura-se uma necessidade de conhecer qual dos sistemas proporciona o maior nível de conforto, mantendo níveis de consumo energético razoáveis, tendo os quatro espaços como referência. É certo que existem diversos fatores que podem alterar a preferência de um sistema em detrimento de outro nos espaços a climatizar, tais como os fatores já referidos, existindo também ainda outro fator fundamental: o isolamento térmico da envolvente. Este parâmetro, em conjunto com as condições exteriores, condiciona a temperatura do interior da parede, que se relaciona diretamente com o nível de conforto térmico.

Podendo apresentar-se como uma variável influenciadora, o isolamento térmico é imprescindível de ser analisado de modo a responder à questão base desta dissertação. Para atingir esse objetivo tomam-se dois valores distintos e válidos de isolamento, um superior que o proposto pelo DL80 e um inferior. Desta forma existem diferenças de valores elevadas e os efeitos fazem-se notar de forma mais relevante, assim como também se pode perceber o comportamento do isolamento face ao consumo energético.

Estreitamente ligado ao consumo energético, surge também o problema associado à fonte energética, embora este fator, de uma forma direta, possa não afetar o conforto térmico, é certo que irá ter consequências no consumo dos sistemas, pois diferentes fontes energéticas originam diferentes coeficientes de performance. Na tentativa de contornar este problema e de tornar o estudo imparcial é selecionada uma fonte energética comum a todos os terminais estudados, também com a intenção, igualmente imparcial, de se fazer uma correta abordagem ao problema.

3.3. Abordagem ao problema

Todo este experimento tem diversas formas de ser efetuado, mas essencialmente pode ser abordado de duas formas: um experimento real, ou um experimento computacional. A presente dissertação, devido à dimensão da análise, um experimento real é inviável porque, para além de acarretar as consequências referidas à abordagem adaptativa, é também certo que os trabalhos são baseados na simulação computacional, não se recorrendo, portanto ao experimento físico e real. Tendo em conta, e analisando trabalhos no âmbito desta temática, facilmente se chega à conclusão que a utilização do *software DesignBuilder*, associado ao módulo *EnergyPlus* é a mais acertada, pois é dos *softwares* mais utilizados, permitindo simular as questões em causa, para além de possuir apoio *online* e um grau de aceitação elevado no departamento de engenharia mecânica da universidade de Aveiro.

Um problema tem muitas formas de abordagem, neste caso, e face às conclusões retiradas da revisão bibliográfica, o procedimento será o seguinte:

Criar um conjunto de quatro espaços independentes, um quarto, um escritório, uma sala de reuniões e ainda um auditório, tendo, cada um, um perfil de características associado, formando um complexo. Replicar-se-á esse complexo, perfazendo um total de quatro complexos, aos quais serão adicionados os quatro tipos de terminais de climatização propostos, passando-se a possuir, deste modo, dezasseis espaços distintos, resultado das combinações de quatro sistemas de climatização com quatro espaços distintos. Tudo isto será realizado com um nível de isolamento idêntico entre os espaços. Por fim, será repetido o estudo, mas recorrendo a um nível de climatização mais elevado, totalizando, deste modo, trinta e duas simulações que pretendem indicar qual o sistema de climatização com melhor relação conforto/consumo para cada espaço e para cada nível de isolamento.

A abordagem ao problema, na presente dissertação, terá em conta uma metodologia centrada na abordagem racional, em que a quantificação das variáveis será de extrema importância. A correta seleção dos sistemas de climatização, como os ventilo-conectores, o piso radiante, os radiadores e os sistemas de expansão direta –Split contribuem, sem dúvida alguma para a atualidade do tema do presente estudo. O mesmo incidirá nos sistemas de climatização mais utilizados atualmente e que contribuem para o ideal de conforto térmico, sem nunca olvidar o consumo energético como fator

condicionante, aquando da escolha de um sistema de climatização. Mas é certo que a escolha de cada um dos sistemas não será feita de uma forma linear, existindo fatores que são condicionantes dessa mesma escolha como o espaço a climatizar, o isolamento térmico do espaço e ainda, a fonte energética de cada um dos sistemas. Abordagem ao problema recorrerá a um experimento computacional, porque como foi referido, devido à dimensão da análise, um experimento real é inviável para a presente dissertação.

4. Parametrização do caso de estudo

O caso de estudo permite a aplicação das variáveis consideradas, com a finalidade de obter a solução à dissertação, como tal a sua parametrização revela-se um capítulo fundamental nesta dissertação.

A diversidade de características presentes nos diferentes espaços interiores, utilizados pela sociedade, permite que estes sejam um condicionante para a solução deste trabalho. Desta forma é necessário criar o conjunto de espaços referidos, apresentados na Figura 9, sob forma de um complexo.

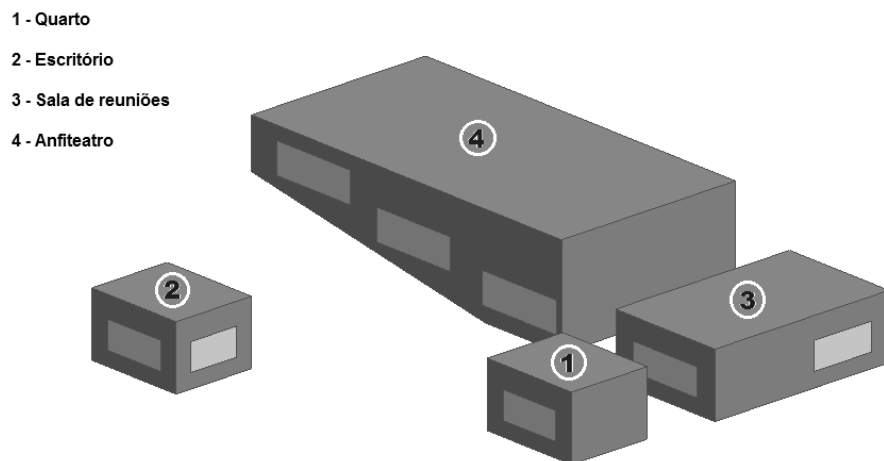


Figura 9 - Modelo do complexo (DesignBuilder)

A disposição do complexo, acima apresentada, não é a real, por uma questão de gestão de espaço. Na disposição adotada, os edifícios encontram-se distantes, para que qualquer possível interação seja desprezável.

4.1. Parametrização dos espaços

Verificada a diversidade das características dos espaços, revela-se importante uma cuidada parametrização de cada espaço.

4.1.1. Quarto

O quarto apresenta a situação mais comum, uma porta e uma janela. Apresenta também uma área de 20 m² distribuídos numa geometria retangular de cinco por quatro metros. O pé direito toma o valor de três metros também por ser um valor típico (medidas externas). A restante descrição está a cima exposta, pois é comum a todos os espaços. Na Figura 10 pode visualizar-se o modelo utilizado deste espaço:

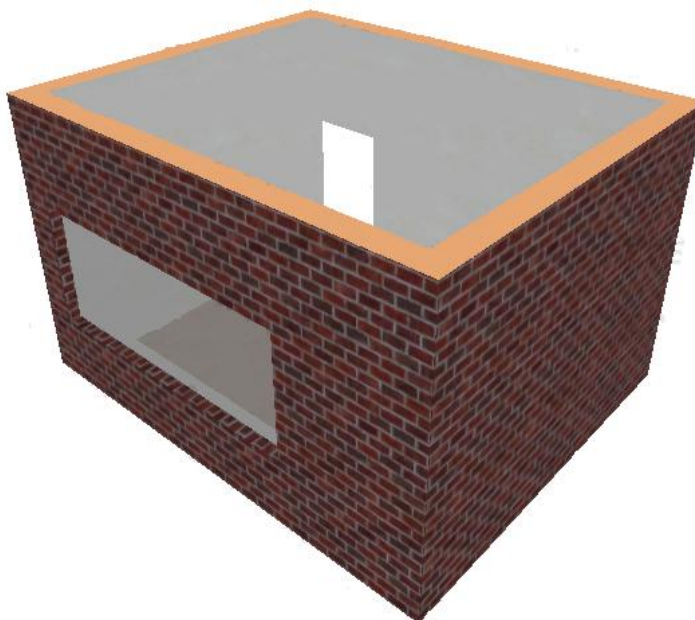


Figura 10 - Modelo do quarto

Em termos de ocupantes, são quatro as variáveis necessárias para os descrever no que se refere a termos térmicos. A taxa metabólica dominante neste tipo de espaços é a correspondente à de uma pessoa no estado sono, já que a maior parte do tempo é passada precisamente a dormir. Consultando o Handbook da ASHRAE (ASHRAE, 1997), para a atividade sono obtemos o valor de 0,7 met. Quanto ao vestuário, o típico será um pijama, e um lençol, perfazendo 0,6 Clo. A densidade de ocupantes considerada será a mais típica: um casal, que neste caso (20 m²) corresponde a 0,1 pessoas por metro quadrado.

Por fim o perfil de utilização, que diz respeito ao período em que o espaço se encontra habitado. Neste caso, sendo um quarto poderá encontrar-se ocupado sempre.

A parametrização deste espaço é apresentada na tabela 4, onde é possível verificar detalhadamente todas as variáveis envolvidas.

Tabela 4 Inputs Quarto

Template	Quarto
Ocupação	0,1 Pessoas/m ²
Densidade	Quarto_Ocupação (Anexo B - Schedule B 1)
Schedule	
Metabolismo	
Atividade	0,7met (dormir)
Fator correção	1
Vestuário	
Inverno	1 Clo
Verão	0,6 Clo
Período de férias	0
Águas quentes sanitárias	0 L/m ² /dia
Set-points	
Aquecimento	20° C
Schedule	Quarto_Aquecimento (Anexo B - Schedule B 3)
Arrefecimento	24° C
Schedule	Quarto_Arrefecimento (Anexo B - Schedule B 5)
Ventilação natural	22° C
Ventilação mecânica	10° C
Equipamento eletrónico	
Ganhos	3,58 W/m ²
Schedule	Quarto_Equipamento (Anexo B - Schedule B 4)
Fração radiante	0,2
Iluminação	Ligada
Consumo	5 W/m ² -100 lux
Tipo de luminária	Suspensa
Fração radiante	0,42
Fração visível	0,18
Luminosidade	100 lux
Schedule	Quarto_Iluminação (Anexo B - Schedule B 2)

4.1.2. Escritório

Em termos construtivos, o escritório apresenta também a situação mais comum para estes espaços: uma porta e duas janelas, uma área de 20 m², distribuídos numa geometria retangular de cinco por quatro metros, o pé direito toma o valor de três metros. Mais uma vez, a descrição da envolvente está descrita a cima para todos os espaços. Na Figura 11 pode visualizar-se o modelo utilizado deste espaço:

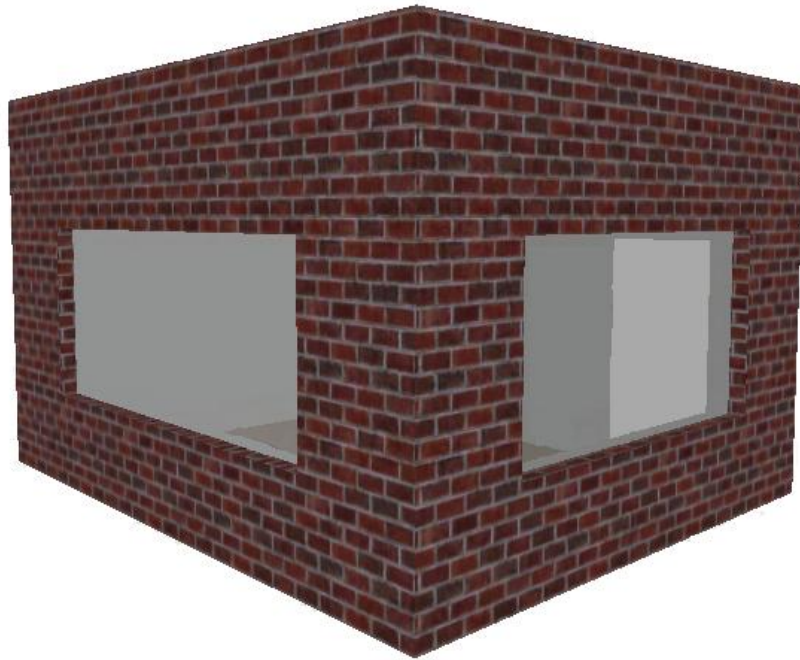


Figura 11 - Modelo do escritório

A taxa metabólica num escritório pode apresentar valores variados, pois podem desenvolver-se atividades, como ler ou escrever, a forma de fazer encomendas, arquivos etc. Logo o valor justo a tomar encontra-se entre estas atividades. Como é referido em Handbook da ASHRAE (ASHRAE, 1997), o valor 1,2 met será o mais adequado.

Em termos de vestuário, uma camisa, calças, sapatos e a respetiva roupa interior são considerados o típico vestuário de escritório e apresentam uma resistência térmica de 0,56 clo (4):

$$I_{cl} = \sum I_{clu} \leftrightarrow$$

$$\leftrightarrow I_{Cl} = I_{Camisa} + I_{Roupa\ interior} + I_{meias} + I_{sapatos} + I_{Calças} \leftrightarrow$$

$$\leftrightarrow I_{cl} = 0,25 + 0,03 + 0,02 + 0,02 + 0,24 \leftrightarrow$$

$$\leftrightarrow I_{Cl} = \mathbf{0,56\ Clo} \quad (4)$$

A ocupação típica passa por uma pessoa na maioria do tempo, pois trata-se de um gabinete de escritório. Pode, no entanto, apresentar visitas várias vezes e perfazendo três a quatro pessoas em algumas situações, portanto, uma média de uma pessoa e meia é aceitável, ou seja, uma densidade de 0,075 pessoas por metro quadrado.

O perfil de utilização corresponde ao período de funcionamento típico de um estabelecimento de serviços (com uma pequena margem de erro), 7:00h as 19:00h, descrevendo desta forma os ocupantes deste espaço.

O template de parametrização do escritório surge na tabela 5:

Tabela 5 - Inputs escritório

Template	Escritório
Ocupação	
Densidade	0,0750 Pessoas/m ²
Schedule	Escritório_Ocupação (Anexo B – Schedule B 11)
Metabolismo	
Atividade	1,2 met
Fator correção	1
Vestuário	
Inverno	0,81 Clo
Verão	0,56 Clo
Período de férias	0
Águas quentes sanitárias	0 L/m ² /dia
Set-points	
Aquecimento	20° C
Schedule	Escritório_Aquecimento (Anexo B - Schedule B 13)
Arrefecimento	24° C
Schedule	Escritório_Arrefecimento (Anexo B - Schedule B 15)
Ventilação natural	22° C
Ventilação mecânica	10° C
Equipamento eletrônico	
Ganhos	11,77 W/m ²
Schedule	Escritório_Equipamento (Anexo B - Schedule B 14)
Fração radiante	0,2
Iluminação	Ligada
Consumo	5 W/m ² -100 lux
Tipo de luminária	Suspensa
Fração radiante	0,42
Fração visível	0,18
Luminosidade	400 lux
Schedule	Escritório_Iluminação (Anexo B - Schedule B 12)

4.1.3. Sala de reuniões

A sala de reuniões apresenta uma área de 60 m² disposta da seguinte forma: 6 x 10 metros. Dispõe, ainda de um pé direito de três metros, tal como os anteriores espaços, tem na totalidade três janelas e uma porta com as características expostas anteriormente. O espaço modelado no *software* tem o especto mostrado na Figura 12.

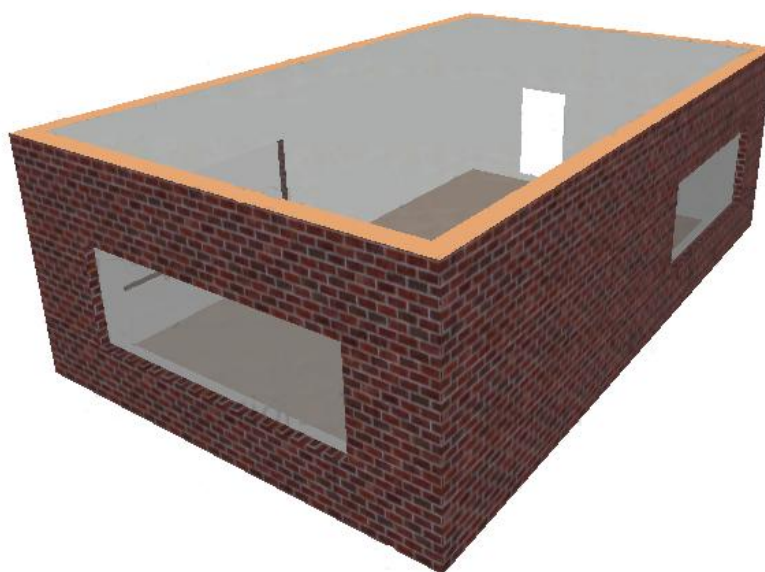


Figura 12 - Modelo da sala de reuniões

Numa sala de reuniões, a atividade física, o vestuário e o perfil de ocupação são aspetos que vão de encontro aos estabelecidos para o escritório, 1,2 met, 0,56 Clo num período entre as 7:00h e as 19:00h respetivamente.

No que ao número de pessoas diz respeito, manifestam-se alterações, não só no próprio número como na área em questão. No referido espaço, tendo em conta a sua área, podemos considerar uma ocupação média de 10 pessoas, o que resulta numa densidade de 0,167 pessoas por metro quadrado.

A sala de reuniões vem parametrizada na tabela 6.

Tabela 6 - Inputs Sala de reuniões

Template	Sala de reuniões
Ocupação	
Densidade	0,167 Pessoas/m ²
Schedule	Escritório_Ocupação (Anexo B - Schedule B 11)
Metabolismo	
Atividade	1,2 met
Fator correção	1
Vestuário	
Inverno	0,81 Clo
Verão	0,56 Clo
Período de férias	0
Águas quentes sanitárias	0 L/m ² /dia
Set-points	
Aquecimento	20° C
Schedule	Escritório_Aquecimento (Anexo B - Schedule B 13)
Arrefecimento	24° C
Schedule	Escritório_Arrefecimento (Anexo B - Schedule B 15)
Ventilação natural	22° C
Ventilação mecânica	10° C
Equipamento eletrônico	
Ganhos	11,77 W/m ²
Schedule	Escritório_Equipamento (Anexo B - Schedule B 14)
Fração radiante	0,2
Iluminação	Ligada
Consumo	5 W/m ² -100 lux
Tipo de luminária	Suspensa
Fração radiante	0,42
Fração visível	0,18
Luminosidade	400 lux
Schedule	Escritório_Iluminação (Anexo B - Schedule B 12)

4.1.4. Auditório

O auditório, ou anfiteatro, é o espaço geometricamente mais distinto. Apresenta uma área de 200 metros quadrados divididos em 20 por 10 metros, no entanto não apresenta um pé direito constante. Pode-se verificar a geometria exata na Figura 13.

Em termos de aberturas, tem 1 porta e 6 janelas dispostas como sugerido na Figura 13.

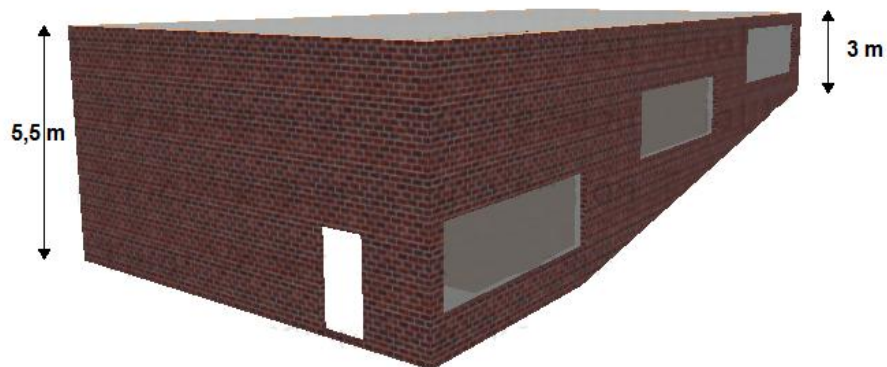


Figura 13 - Modelo do auditório

A atividade física neste espaço, mais uma vez vai de encontro às duas anteriores, e toma o valor de 1,2 met.

Num anfiteatro, um ambiente tipicamente de aulas ou palestras (alunos), o vestuário é menos formal do que o vestuário do escritório. Por norma, calças de ganga, meias, sapatos desportivos, uma *t-shirt*, uma *sweat* e roupa interior, que resultam na seguinte resistência térmica:

$$I_{cl} = \sum I_{clu} \leftrightarrow$$

$$\leftrightarrow I_{cl} = I_{Sweat} + I_{Roupa\ interior} + I_{meias} + I_{sapatos\ desportivos} + I_{Calças\ de\ ganga} + I_{T-shirt} \leftrightarrow$$

$$\leftrightarrow I_{cl} = 0,25 + 0,03 + 0,02 + 0,02 + 0,28 + 0,08 \leftrightarrow$$

$$\leftrightarrow I_{cl} = \mathbf{0,68\ Clo} \quad (5)$$

O número de pessoas num auditório destas dimensões é de aproximadamente de 100 pessoas, resultando portanto numa densidade de 0,5 pessoas por metro quadrado.

Em termos de perfil de utilização, corresponde novamente ao período das 7:00h às 19:00h.

É fundamental nesta altura referir que os valores do vestuário dizem respeito aos valores de Verão, como tal, para a situação de Inverno são adicionados 0,25 clo a cada caso. O quarto representa a exceção e vê o seu valor de 0,6 clo passar a 1 clo correspondente à adição de um edredão. O valor a adicionar não é o mesmo dos outros casos, pois a atividade metabólica é muito reduzida.

Por fim o template do auditório na tabela 7:

Tabela 7 - Inputs auditório

Template	Auditório
Ocupação	
Densidade	0,500 Pessoas/m ²
Schedule	Auditório_Ocupação (Anexo B - Schedule B 6)
Metabolismo	
Atividade	1,2 met
Fator correção	1
Vestuário	
Inverno	0,93 Clo
Verão	0,68 Clo
Período de férias	0
Águas quentes sanitárias	0 L/m ² /dia
Set-points	
Aquecimento	20° C
Schedule	Auditório_Aquecimento (Anexo B - Schedule B 10)
Arrefecimento	24° C
Schedule	Auditório_Arrefecimento (Anexo B - Schedule B 8)
Ventilação natural	22° C
Ventilação mecânica	10° C
Equipamento eletrónico	
Ganhos	4,74 W/m ²
Schedule	Auditório_Equipamento (Anexo B - Schedule B 9)
Fração radiante	0,2
Iluminação	Ligada
Consumo	5 W/m ² -100 lux
Tipo de luminária	Suspensa
Fração radiante	0,42
Fração visível	0,18
Luminosidade	300 lux
Schedule	Auditório_Iluminação (Anexo B - Schedule B 7)

Resumidamente, a parametrização referente aos ocupantes, para todos os espaços propostos, surge na tabela 8, à exceção dos *Schedules* devido à sua extensão.

Tabela 8 - Tabela resumo - Ocupantes

		Quarto	Escritório	Sala de reuniões	Anfiteatro
Taxa de metabolismo (Met)	-	0,7	1,2	1,2	1,2
Vestuário (Clo)	Inverno	1	0,81	0,81	0,93
	Verão	0,6	0,56	0,56	0,68
Densidade (P/m²)	-	0,1	0,075	0,167	0,5
Perfil utilização	-	0h - 24h	07h-19h	07h-19h	07h-20h

4.2. Parametrização da construção

A parametrização da construção propriamente dita surge, através do evidente fator isolamento, na resolução deste trabalho. O isolamento como variável influenciadora do consumo e do conforto é condicionante para os dois aspetos fundamentais deste documento, como referido, esta variável toma dois valores distintos no intuito de devolver, nos resultados, o seu contributo. Para fácil identificação, o nível de isolamento mais pobre é denominado de nível I de isolamento, o nível de isolamento superior é designado de nível II. Na tabela 9 é possível observar todos os parâmetros associados às envolventes respeitantes ao nível I de isolamento. E na tabela 10 é possível verificar a mesma informação, no que se refere ao nível II de isolamento.

Tabela 9 – Características da envolvente com nível I de isolamento


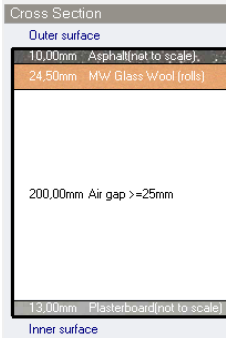

	Camadas	Espessura	U (W/m².K)	
Paredes Exteriores	Gesso	13	1,201	
	Bloco betão	100		
	Poliestireno extrudido (XPS)	10,7		
	Alvenaria	100		
Teto plano	Gesso	13	1,001	
	Ar	200		
	Lã de vidro	24,5		
	Betume	10		
Piso	Soalho	30	0,9	
	Betonilha	70		
	Betão	100		
	Espuma de formaldeído de ureia	17,1		
Portas exteriores	Carvalho pintado	35	2,251	
Janelas	Vidro transparente	6mm	3,779	

Tabela 10 - Características envolvente com nível II de isolamento

	<i>Camadas</i>	<i>Espessura</i>	<i>U (W/m².K)</i>	
Paredes Exteriores	Gesso	13	0,350	
	Bloco betão	100		
	Poliestireno extrudido (XPS)	79,5		
	Alvenaria	100		
Teto plano	Gesso	13	0,250	
	Ar	200		
	Lã de vidro	144,5		
	Betume	10		
Piso	Soalho	30	0,250	
	Betonilha	70		
	Betão	100		
	Espuma de formaldeído de ureia	132,7		
Portas exteriores	Carvalho pintado	42	2,079	
Janelas	Vidro transparente	3mm	1,96	
	Gás	13mm		
	Vidro transparente	3mm		

Tome-se como exemplo a parede exterior (envolvente opaca vertical). Num caso temos um coeficiente de transferência de calor na ordem dos $1,2 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, no outro $0,350 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, consultando o DL 80 para a zona de Coimbra, o valor de referência é $0,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, verificando assim, um valor para o nível I de isolamento quase duas vezes superior. No caso do nível II o valor é, cerca de duas vezes, inferior.

A localização geográfica escolhida é Coimbra, por ser uma região que não apresenta condições climáticas exigentes e acaba por ser um clima comum podendo reciclar-se o estudo para mais regiões.

4.3. Parametrização dos sistemas de climatização

A caracterização dos sistemas de climatização, como objeto de análise desta dissertação, toma especial ênfase no presente capítulo.

Os radiadores, como representantes do grupo de sistemas de convecção natural, apresentam a sua parametrização por intermédio da tabela 11

Tabela 11 - Template dos radiadores

Template	Radiadores
Ventilação	
Natural	Sim
Mecânica	-
Aquecimento	Sim
Fonte	Eletricidade da rede
CoP	1 (GEOTHERM, 2011)
Pré aquecimento	1 Hora
Tipo	Convecção
Arrefecimento	-

Os ventilo-convectores surgem de forma idêntica aos radiadores, no entanto estão dotados de capacidades de arrefecimento e ventilação mecânica. A sua parametrização detalhada pode ser consultada na tabela 12.

Tabela 12 - Template Ventilo convectores

Template	Ventilo-convectores
Ventilação	
Natural	-
Mecânica	3 ac/h
Noite	Desligado
Tipo de ventoinha	Sucção
Eficiência	70%
Pressão	150 Pa
Aquecimento	Sim
Fonte	Eletricidade da rede
CoP	1 (GEOTHERM, 2011)
Pré aquecimento	1 Hora
Tipo	Convecção
Arrefecimento	Sim
Fonte	Eletricidade da rede
CoP	2,5 (ADENE, 2008)

O piso radiante apresenta dois modos de transferência de calor e não apresenta capacidade de arrefecimento, contudo estes sistemas podem possuir essa função, sendo para tal, normalmente instalados no teto e não no piso. Em qualquer uma das hipóteses não é possível simular essa função no módulo do EnergyPlus utilizado, apesar de o DesignBuilder permitir a introdução da função de arrefecimento nestes dispositivos. Na tabela 13 está apresentada a parametrização dos parâmetros simulados para este sistema.

Tabela 13 - Template piso radiante

Template	Piso radiante
Ventilação	
Natural	Sim
Mecânica	-
Aquecimento	Sim
Fonte	Eletricidade da rede
CoP	1 (GEOTHERM, 2011)
Pré aquecimento	1 Hora
Tipo	Radiação e convecção
Arrefecimento	-

A expansão direta apresenta as suas características parametrizadas na tabela 14:

Tabela 14 -Template expansão direta

Template	Expansão direta
Ventilação	
Natural	-
Mecânica	3 ac/h
Noite	Desligado
Tipo de ventoinha	Sucção
Eficiência	70%
Pressão	50 Pa
Aquecimento	Sim
Fonte	Eletricidade da rede
CoP	1 (GEOTHERM, 2011)
Pré aquecimento	1 Hora
Tipo	Convecção
Arrefecimento	Sim
Fonte	Eletricidade da rede
CoP	2,5 (ADENE, 2008)

Por fim, pode justificar-se os coeficientes de performance das fontes energéticas pelas fontes referidas. Na escolha da fonte é tida em conta a compatibilidade com os terminais em causa. Como tal foi selecionado aquecimento por efeito de joule, e arrefecimento por bomba de calor, pois utilizam um princípio de funcionamento idêntico ao sistema de expansão direta, ficando assim as fontes de calor e frio inalteradas e compatíveis para todos os sistemas estudados.

4.4. Seleção dos parâmetros de saída

Tratando-se de uma análise dinâmica, o fator tempo é um fator determinante, portanto a escolha da frequência em que os dados são obtidos é fulcral. Depois de consultada alguma bibliografia do software chegou-se à conclusão que para a análise do conforto térmico em edifícios climatizados, uma instância por hora é suficiente. É óbvio que seriam preferíveis instantes mais curtos, no entanto e devido aos factos de se analisar períodos de tempo de seis e doze meses (conforme o sistema) e realizar trinta e duas simulações diferentes, o poder de cálculo torna-se uma variável importante. Portanto, este intervalo mais curto é fundamental no caso do conforto térmico. Quanto ao consumo energético, já não é fundamental um registo pontual, até porque o que realmente interessa é o acumulado.

Os *outputs* pretendidos são o consumo energético e o conforto térmico, desta forma, no software é selecionado o grupo de dados do módulo *Comfort* e do módulo *Energy, HVAC, etc.* Nestes dois módulos anteriores estão todos os dados pretendidos, no entanto é importante selecionar mais um módulo para confirmar os valores obtidos, o módulo *Environmental*, que basicamente permite a consulta das várias temperaturas envolvidas na simulação.

Após a realização dos cálculos é devolvido um vasto conjunto de dados, dos quais é fundamental filtrar apenas os necessários. Neste caso, são o consumo elétrico, a temperatura exterior do ar, radiante e operativa, as horas de desconforto e o índice PMV de Fanger.

Por fim, todos os dados são transferidos para uma folha de cálculo e procede-se ao seu tratamento para posterior análise.

Em anexo encontram-se, detalhadamente, os resultados obtidos para cada caso.

4.5. Conclusão:

Neste capítulo verificou-se que o caso de estudo permite a aplicação das variáveis consideradas com a finalidade de obter uma solução para a presente dissertação. Partindo deste pressuposto, e devido ao facto dos espaços apresentarem diversidade de características, podendo condicionar a solução deste trabalho, houve a necessidade de criar o conjunto de espaços referidos sob forma de uma espécie de complexo.

Também a correta parametrização dos espaços foi um fator a ter em conta no estudo, quer no quarto, na sala de estar, no escritório e no auditório, assim como a taxa metabólica em cada espaço, visto que num escritório pode tomar variados valores, pois podem-se desenvolver atividades como ler ou escrever. No quarto a taxa metabólica dominante é a correspondente á de uma pessoa em sono, visto que grande parte do tempo é passado precisamente a dormir. Numa sala de reuniões a atividade física, o vestuário e o perfil de ocupação são aspetos que se verificou que também foi de encontro aos parâmetros estabelecidos anteriormente para o escritório, sendo de 1,2 met, 0,56 Clo e um período das 7:00h às 19:00h, respetivamente. Finalmente, no auditório concluiu-se que a atividade física, mais uma vez, foi de encontro às duas anteriores, e toma o valor de 1,2 met.

Para cada espaço resultou uma resistência térmica diferente, tendo em conta fatores como vestuário, número de pessoas por espaço, período de utilização, atividade física nesse determinado espaço, assim como as suas dimensões. Também a parametrização da construção surge pelo destaque do fator isolamento na resolução deste trabalho. O isolamento como variável influenciadora do consumo e do conforto é igualmente um condicionante.

Depois do estudo se ter debruçado sobre a parametrização dos sistemas de climatização, e, depois se ter procedido à parametrização detalhada de cada sistema de climatização, justificaram-se os coeficientes de performance das fontes energéticas.

Quanto à seleção dos parâmetros de saída, chegou-se à conclusão que para a análise do conforto térmico em edifícios com climatização, uma instância por hora seria suficiente para o presente estudo.

Ao longo do presente capítulo, depois da obtenção e do tratamento dos cálculos, há o resultado de um vasto conjunto de dados em que se selecionou apenas os necessários, como é o caso do consumo elétrico, da temperatura exterior, do ar, radiante e operativa, e ainda as horas de desconforto e o índice PMV de Fanger.

5. Análise dos resultados

A análise dos resultados tem como objetivo a análise de três grandes aspetos: o conforto térmico, o consumo energético e o, não menos importante, nível de isolamento, sendo estes, respetivamente, um fator ativo, um fator passivo de climatização e um fator económico.

Importante é definir como estruturar as comparações. De uma forma geral, temos quatro análises distintas, cada uma correspondente a um espaço (quarto, escritório, sala de reuniões e auditório). O objetivo não passa por utilizar os diferentes espaços como matéria de análise entre si, passa sim por representar situações reais distintas (os espaços) às quais vão ser aplicadas diferentes estratégias de climatização e ver qual a que melhor se adequa. No mesmo espaço serão testados os quatro sistemas de climatização, o seu consumo e o nível de isolamento.

É oportuno acrescentar, no que diz respeito às funcionalidades de aquecimento e de arrefecimento, como são sistemas distintos, que dois deles não permitem a análise da situação de arrefecimento (no verão):

O sistema de radiadores, devido à necessidade de um diferencial de temperatura elevado para funcionar com rendimento, funcionaria perto da temperatura de orvalho e, por consequência, formaria condensados. Como não está preparado para recolher esses condensados, não faz sentido a sua análise.

No caso do piso radiante o sistema em si funciona corretamente em arrefecimento, no entanto o módulo do software utilizado não permite o seu cálculo. Como solução compara-se a situação de arrefecimento apenas entre os restantes dois sistemas, na época de inverno verifica-se que rivalizam todos entre si.

Os dados são organizados em meses. Para o consumo basta apenas somar todos os valores pontuais do mês em questão. Já para o conforto a situação é diferente; o conforto térmico revela-se uma variável dinâmica e, como tal, a sua análise tem que ser cuidada, não se pode perder informação ao generalizar a variável. Basicamente tem que se encontrar um valor que represente a amostra com a menor perda de informação possível, a melhor forma encontrada é efetuar uma média, à qual se adiciona um intervalo de confiança a noventa e cinco por cento. Se o intervalo de confiança é curto garante-se que

a média realmente representa a amostra e, simultaneamente, eliminam-se dados pontuais com valores absurdos, muitas vezes gerados por situações pontuais que não se devem refletir no conforto em geral.

São expostos e analisados agora os dados tratados, agrupados por espaços e por níveis de isolamento:

5.1. Quarto

5.1.1. Isolamento - nível I

Consumo

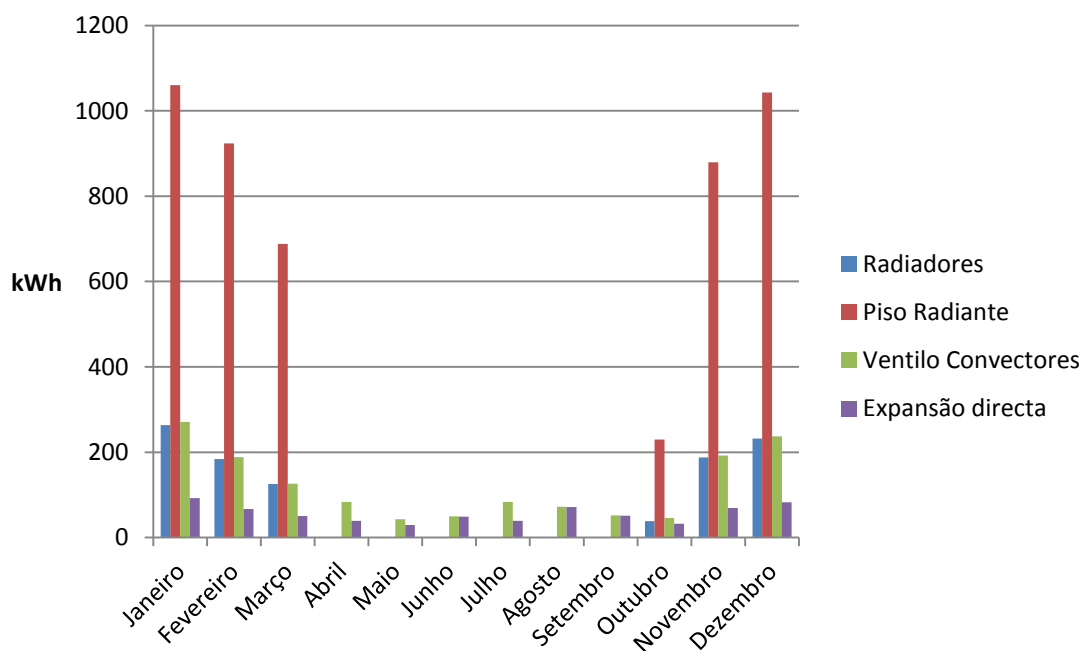


Figura 14 - Consumo - Quarto - Isolamento nível I

No que concerne ao consumo, de momento não se podem retirar conclusões relevantes sem antes analisar o conforto. Analisando a Figura 14, para a situação de aquecimento, pode-se apontar o piso radiante como o mais gastador, seguido dos

ventilo-convectores, logo a par com os radiadores e, por fim, os sistemas de expansão direta. Na situação de verão a rivalidade fica reduzida a dois sistemas, apresentando os ventilo-convectores o consumo mais elevado.

Observando agora a Figura 14, representada mensalmente, não existe nenhuma discrepância de consumo relevante entre os meses, ou seja, os consumos de ambos os equipamentos variam em igual proporção, conforme as exigências climáticas de cada mês.

De uma forma mais elucidativa pode-se observar a distribuição do consumo representada na tabela 15:

Tabela 15 – Percentagem de consumo relativa - quarto - Isolamento nível I

	<i>Radiadores</i>	<i>Piso Radiante</i>	<i>Ventilo-convectores</i>	<i>Expansão direta</i>
Janeiro	25%	100%	26%	9%
Fevereiro	20%	100%	20%	7%
Março	18%	100%	18%	7%
Abril			100%	47%
Maio			100%	69%
Junho			100%	99%
Julho			100%	47%
Agosto			100%	99%
Setembro			100%	99%
Outubro	17%	100%	20%	14%
Novembro	21%	100%	22%	8%
Dezembro	22%	100%	23%	8%

Na tabela 15 verifica-se o valor cem por cento é associado ao sistema mais consumidor desse mês e os restantes sistemas têm o seu consumo expresso em percentagem, em função desse mesmo sistema.

Conforto

Antes de partir para a análise do conforto, propriamente dito, deve-se retomar aos valores dos intervalos de confiança. No gráfico seguinte (Figura 15) estão representadas

barras de erro que representam o intervalo de confiança baseado na média dos índices de conforto (PMV) para o mês em questão.

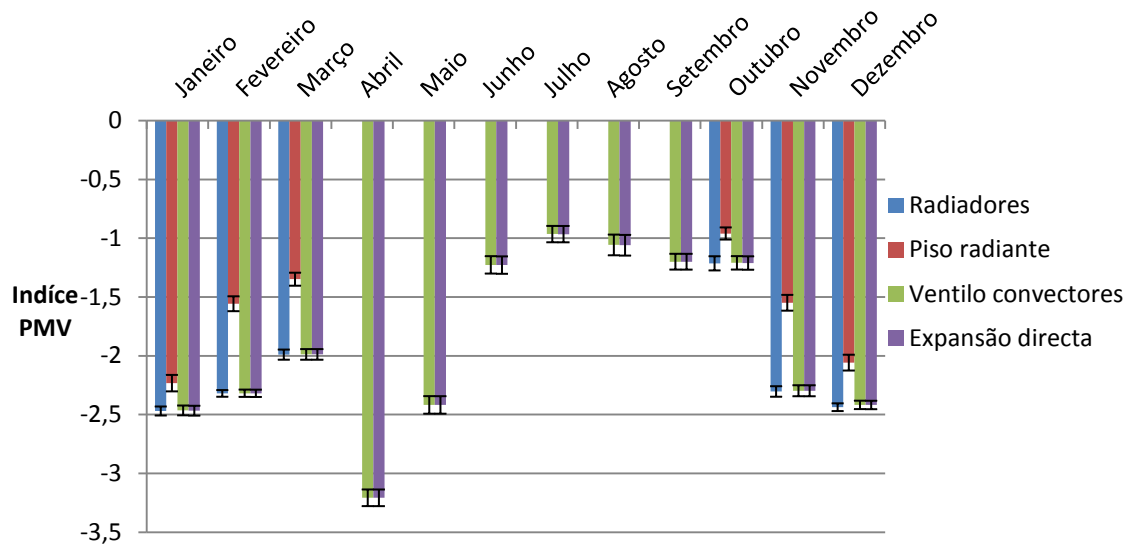


Figura 15 - Conforto - Quarto - Isolamento nível I

Para se analisar o conforto térmico, tido como uma variável dinâmica, é importante verificar o seu intervalo de confiança à média. Partindo da Figura 15 pode-se afirmar que os intervalos de confiança, representados a 95%, são curtos, desta forma pode-se tomar o índice PMV médio como um valor representante da amostra recolhida.

Geralmente este espaço é uma zona fria, mesmo na estação quente, chegam-se mesmo a verificar mais de três pontos negativos na escala PMV. Esta situação especial ocorre em Abril, onde ainda se verifica uma temperatura baixa (Gráfico da temperatura, qualquer um dos presentes no Anexo A) e os equipamentos já se encontram a funcionar em arrefecimento.

Possuindo a informação relativa aos consumos, para a situação de aquecimento, o piso radiante revela-se o mais gastador mas também proporciona os níveis de conforto mais elevados. Todos os outros, a nível de conforto, estão em igualdade.

Por fim, pode-se afirmar que qualquer opção a nível de climatização, neste espaço, se revela insuficiente a nível de conforto. De seguida, é aplicada a intervenção passiva ao nível do isolamento, com a finalidade de perceber como esta afeta os consumos, e ainda saber se responde as exigências a nível de conforto.

Pode acrescentar-se ainda a informação pontual, em forma gráfica, que deu origem aos resultados expostos para este espaço e para este nível de isolamento. Para este efeito podem ser consultadas as seguintes figuras no Anexo A: Figura A 30; Figura A 31; Figura A 32; Figura A 29.

5.1.2. Isolamento - nível II

Consumo

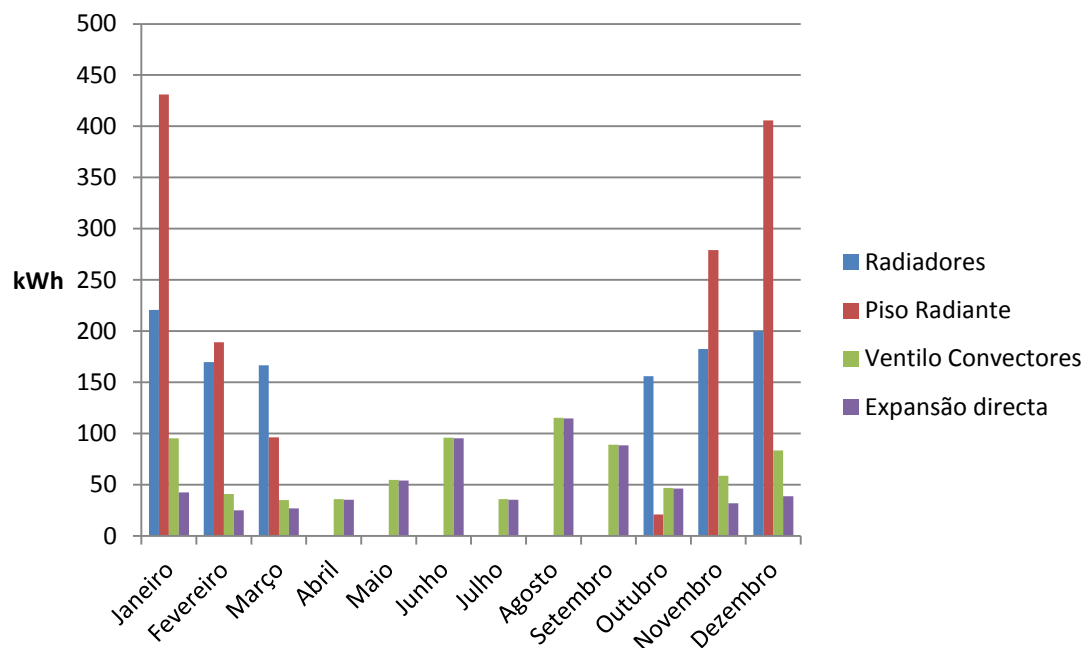


Figura 16 - Consumo - Quarto - Isolamento nível II

Em relação à distribuição de consumos, a Figura 16 revela novamente piso radiante com o maior consumo, mas agora seguido pelos radiadores e, só depois, pelos ventilo-convectores e pelos sistemas de expansão direta. Estes dois últimos sistemas comportam-se de forma idêntica em situações de arrefecimento, no entanto, em aquecimento a expansão direta revela-se mais económica.

Sobre o padrão de distribuição não existe muito a acrescentar, mas no que diz respeito ao valor absoluto verifica-se uma descida acentuada, distribuída igualmente por todos os sistemas. Para comprovar esta mesma situação, a tabela 16 apresenta a redução de consumo verificada.

Tabela 16 - Consumo - Quarto - Nível I vs. Nível II

Isolamento	Consumo				
	Radiadores	Piso radiante	Ventilo convetores	Expansão direta	Total
Nível I	1031	4824	1445	676	7976
Nível II	1095	1423	789	636	3943

No global o consumo reduz-se para cerca de metade, no entanto, o que realmente é importante é a análise realizada em cada sistema. Aqui verifica-se que na realidade o piso radiante é o sistema que mais beneficia com a adição de isolamento (tem uma redução na ordem dos 70% no consumo). Os ventilo convetores apresentam uma redução próxima dos 50 %. Os radiadores e o sistema de expansão direta apresentam uma descida ligeira, consoante o verificado na tabela anterior.

Conforto

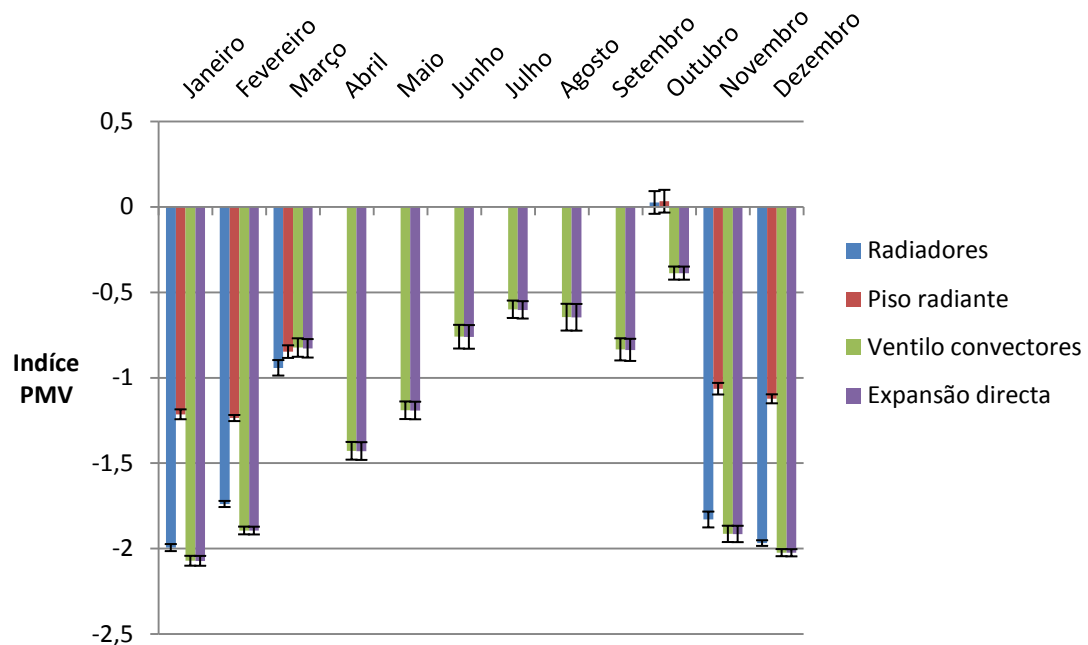


Figura 17 - Conforto - Quarto - Isolamento nível II

A primeira ilação que se retira é o facto de o intervalo de confiança (a 95%), observado na Figura 17, permitir afirmar a média como um valor representante da amostra.

Assim como no consumo, o aumento do nível de isolamento resulta em grandes melhorias ao nível do conforto. É possível mesmo experimentar uma situação de conforto no mês de Outubro e todos os outros meses revelam um aumento do nível de conforto entre meio e um ponto na escala.

Tal como na questão do consumo, o sistema privilegiado pelo isolamento volta a ser o piso radiante, seguido dos radiadores. Seguidamente, e em simultâneo, os dois sistemas com capacidade de frio.

Para este nível de isolamento os dados horários podem ser consultados, em forma gráfica, nas figuras: Figura A 8; Figura A 12; Figura A 16 e Figura A 4, no Anexo A, cada uma delas correspondendo a um sistema de climatização diferente.

5.2. Escritório

5.2.1. Isolamento - nível I

Consumo

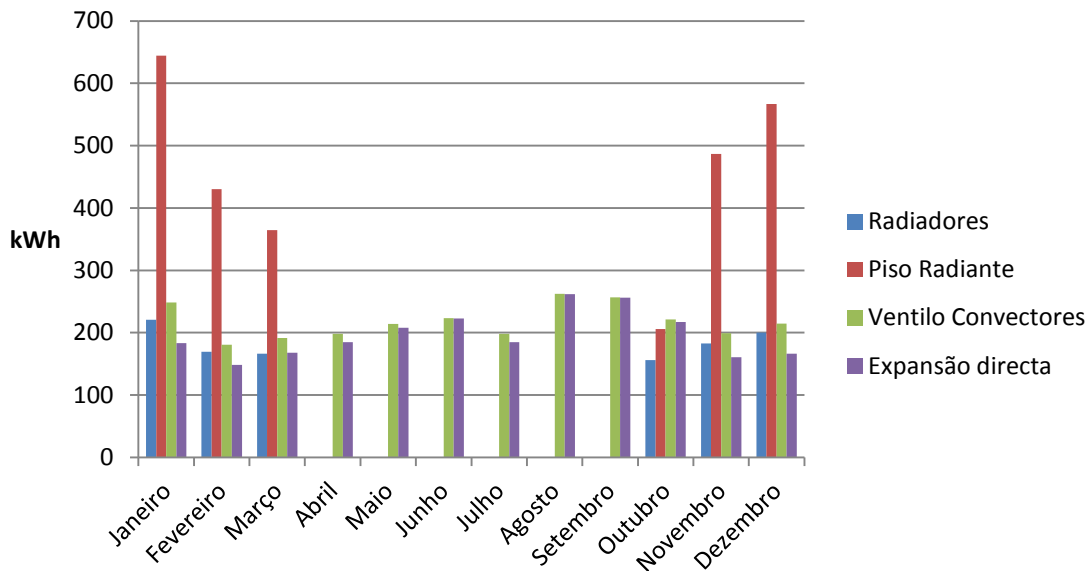


Figura 18 - Consumo - Escritório - Isolamento nível I

Visualizando a Figura 18, é notório que o sistema piso radiante é o mais consumidor, revelando-se nos meses frios, três vezes mais gastador do que os outros sistemas.

A este sistema seguem-se os ventilo convetores, de seguida os radiadores e a expansão direta.

Entre os dois equipamentos de frio, o ventilo-convetor é o menos económico.

Conforto

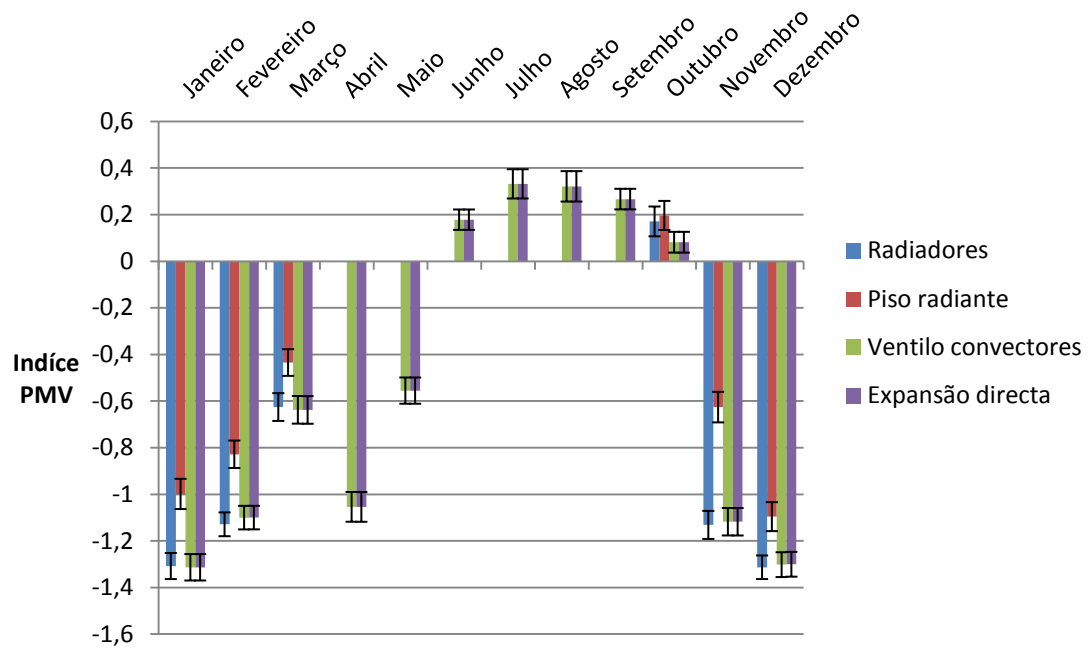


Figura 19 - Conforto - Escritório - Isolamento nível I

Figura 19 - Ao nível do conforto o panorama melhora drasticamente, em relação ao espaço anterior. Continua a ser uma zona fria, no entanto, com índices PMV mensais confiáveis nunca inferiores a -1,4. Mais uma vez, o piso radiante é o mais consumidor mas também proporciona o melhor nível de conforto, seguido dos outros três sistemas, praticamente com os mesmos valores entre si.

Neste espaço é possível também verificar a informação horária de todos os dados utilizados na Figura A 28, Figura A 27, Figura A 26 e Figura A 25, mais uma vez cada uma delas refere-se a um sistema de climatização diferente.

5.2.2. Isolamento - nível II

Consumo

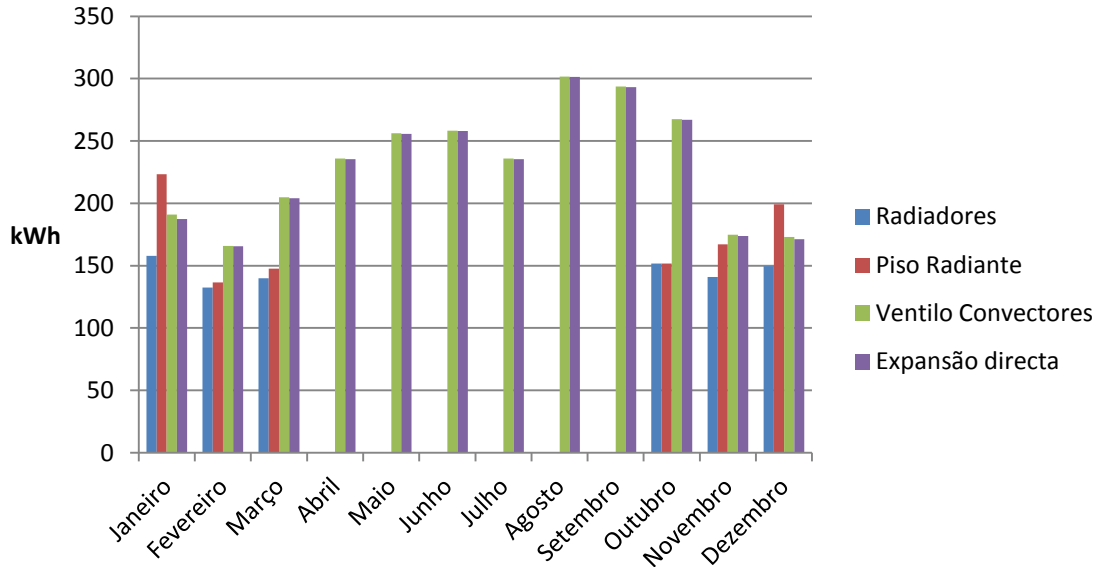


Figura 20 - Consumo - Escritório – Isolamento nível II

Tal como se consta no espaço anterior, no quarto, o piso radiante volta a sofrer uma redução grande de consumo com a adição de isolamento (Figura 20), os radiadores também viram o seu consumo reduzir, mas de forma menos significativa. Mais uma vez o piso radiante é o mais consumidor, no entanto apenas nos meses mais frios (Dezembro e Janeiro), nos restantes meses de inverno chega a consumir menos que os sistemas de expansão direta e que os ventilo-convectores.

Em relação à estação quente pode-se verificar que o consumo aumentou e a justificação é simples. Um escritório apresenta ganhos internos elevados devido aos equipamentos informáticos, desta forma, ao aplicar mais isolamento à envolvente, perde-se capacidade de dissipar calor gerado e, portanto, os sistemas de arrefecimento terão que dar resposta a este problema. E, por outro lado, na estação fria verifica-se uma ligeira descida no consumo.

Conforto

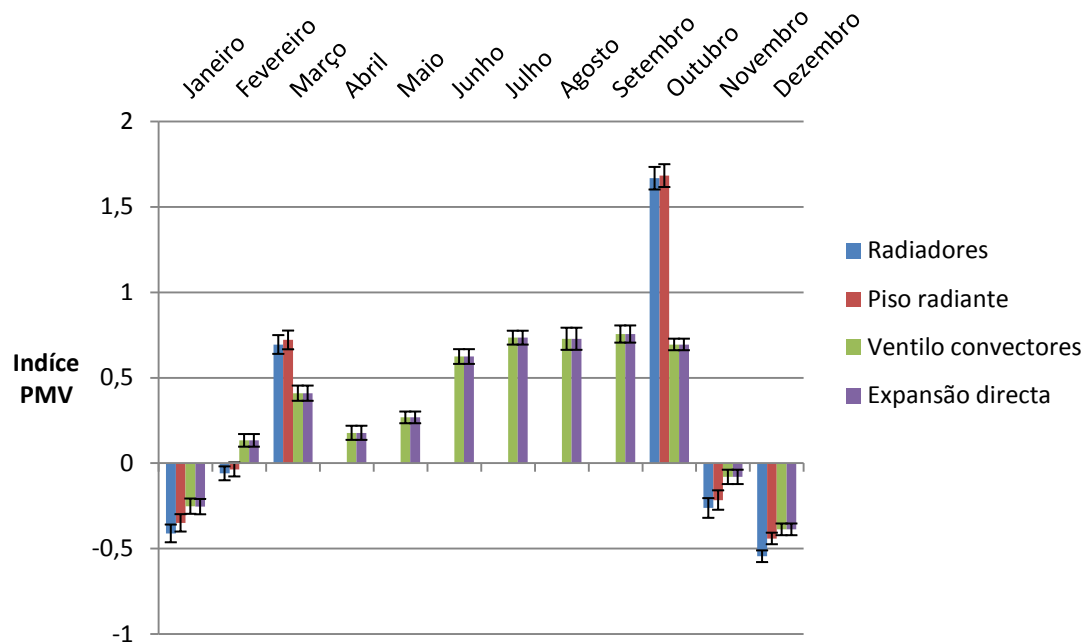


Figura 21 - Conforto - Escritório - Isolamento nível II

Em relação à Figura 21, comparativamente com a Figura 19, nota-se, um espectro negativo gerado pela adição de isolamento, sendo ele a redução do nível de conforto na estação quente. Esta redução não se revela problemática pois é pouco significativa. No geral, têm-se um aumento do nível de conforto. O piso radiante, assim como o sistema de radiadores, revelam-se insuficientes para gerar os níveis de conforto propostos pelos restantes sistemas, que ainda têm a particularidade de permitirem operar em modo de refrigeração.

Por fim, a restante informação, relativa a este espaço, para este nível de isolamento, pode ser encontrada no Anexo A, na Figura A 7, Figura A 11, Figura A 15 e Figura A 3.

5.3. Sala de reuniões

5.3.1. Isolamento - nível I

Consumo

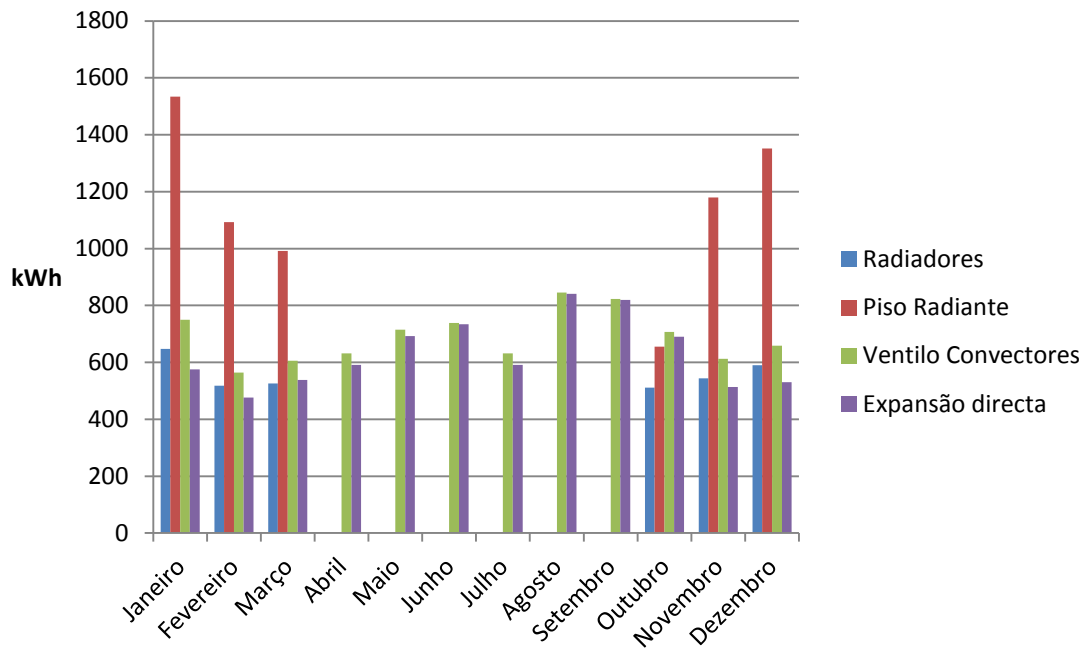


Figura 22 - Consumo - Sala de reuniões - Isolamento nível I

A sala de reuniões é um espaço muito idêntico ao escritório apesar de, por norma, apresentar uma densidade de pessoas mais elevada, de que forma reagirão os sistemas de climatização?

Observando a Figura 22, representando o nível I de isolamento, a distribuição do consumo por sistema de climatização mantém-se inalterada face ao espaço do escritório. Neste espaço apenas se nota um aumento no valor absoluto do consumo em todos os sistemas, devido à maior área a climatizar. Desta forma não há muito mais a acrescentar sob a pena de se tornar repetitivo.

Conforto

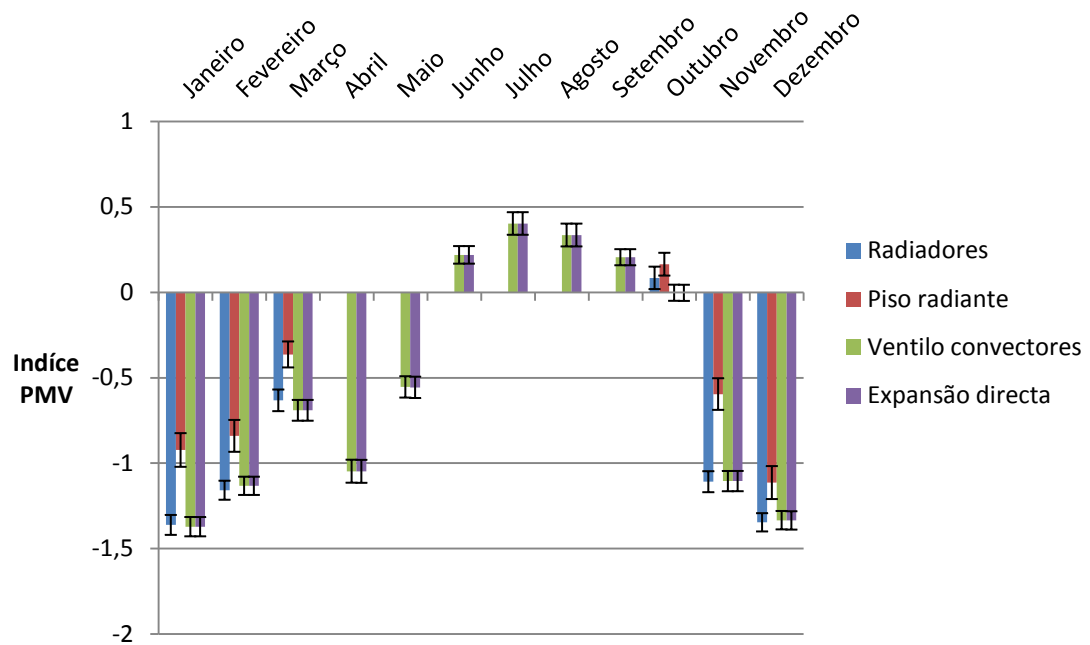


Figura 23 - Conforto - Sala de reuniões – Isolamento nível I

Quanto ao nível de conforto (Figura 23), a resposta mantém-se. O comportamento permanece muito idêntico ao espaço semelhante. Com a adição de algum isolamento reagirá de forma diferente?

O comportamento horário deste espaço e nível de isolamento são expressos na Figura A 22, na Figura A 23, na Figura A 21 e ainda na Figura A 24, no Anexo A.

5.3.2. Isolamento - nível II

Consumo

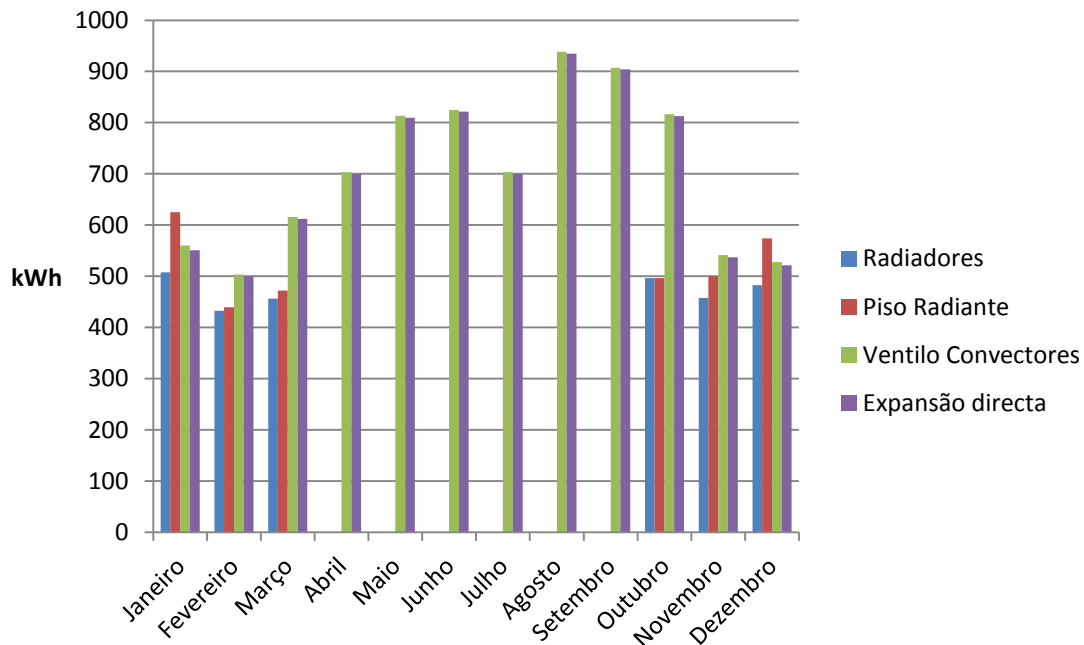


Figura 24 - Consumo - Sala de reuniões - Isolamento nível II

Uma atenta análise da Figura 24, comparativamente com a Figura 20, permite novamente obter a mesma resposta: Não há qualquer reação com a adição de isolamento, apenas há uma redução mais significativa do consumo no que diz respeito ao piso radiante. Verifica-se também o aumento do nível de consumo no verão.

Conforto

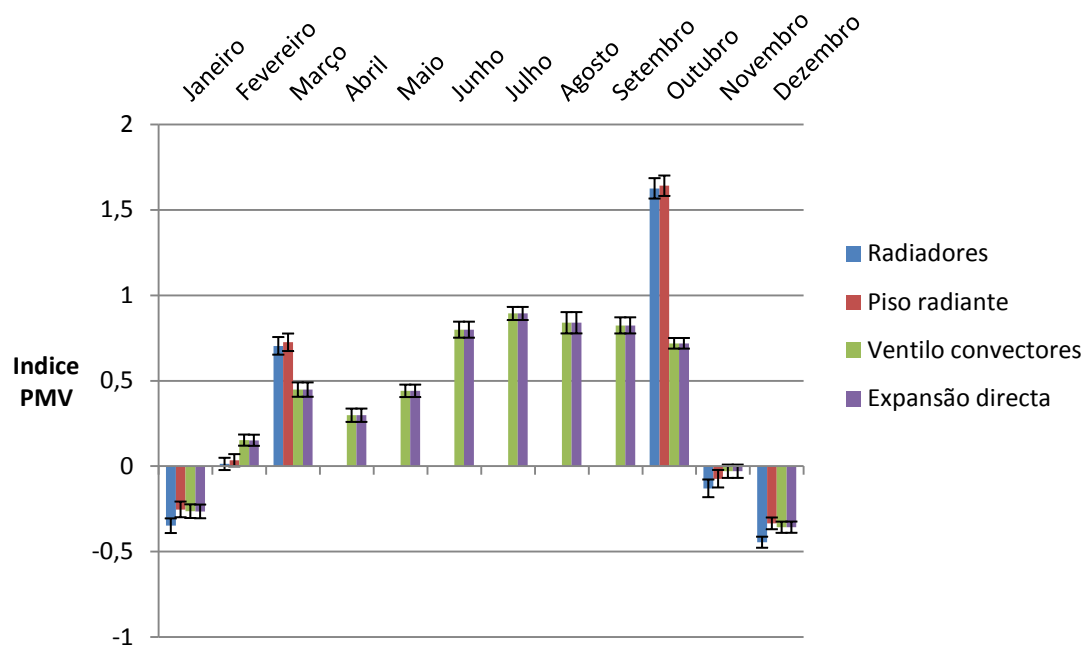


Figura 25 - Conforto - Sala de reuniões - Isolamento nível II

Procedendo-se à análise da Figura 25, é notável a semelhança à Figura 21, portanto, o comportamento do conforto mantém-se.

Quanto a este nível de isolamento, os dados detalhados podem ser consultados no Anexo A, agora na Figura A 6, Figura A 10, Figura A 2 e, na Figura A 14, respeitante aos diferentes sistemas de climatização.

5.4. Auditório

5.4.1. Isolamento - nível I

Consumo

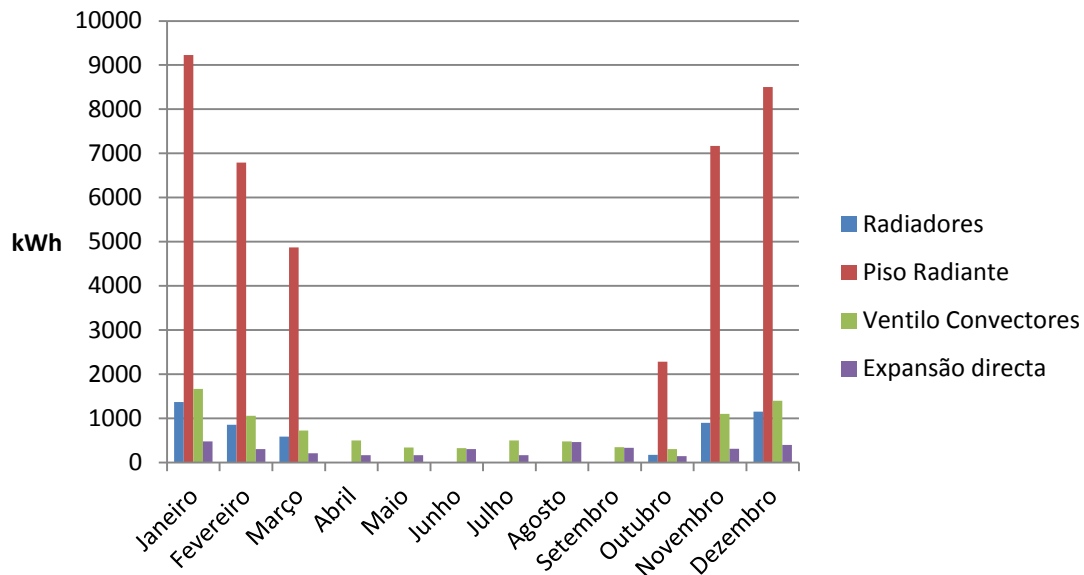


Figura 26 - Consumo - Auditório - Isolamento nível I

Na Figura 26 percebe-se um consumo extremo associado ao piso radiante. Consultando uma fração dos resultados extraídos para este caso (Figura 27), verifica-se um problema de controlo associado a este sistema, neste espaço em específico. Problema esse que se repete ao longo de todo o período simulado. É necessário referir que é apresentado este fragmento apenas por uma questão de escala. As justificações podem ser variadas, poder-se-á verificar o efeito ‘rolha’, por exemplo, ou ainda o sistema de controlo poderá não se revelar eficiente, face ao pé direito de maiores dimensões, o que, em conjunto com a capacidade de resposta do sistema, origina este fenómeno.

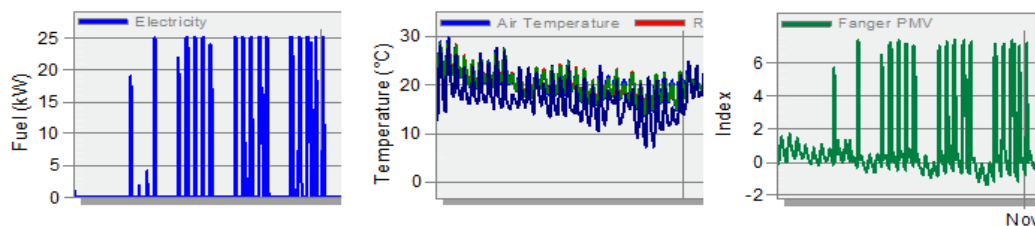


Figura 27 - Resultados - Auditório - Isolamento nível I - Piso radiante

No que concerne aos sistemas restantes, é possível verificar um consumo reduzido do sistema de expansão direta, seguido dos radiadores e, por fim, os menos económicos ventilo-convectores. Para a situação de verão, nos sistemas de arrefecimento, conclui-se que a expansão direta é a mais económica.

Conforto

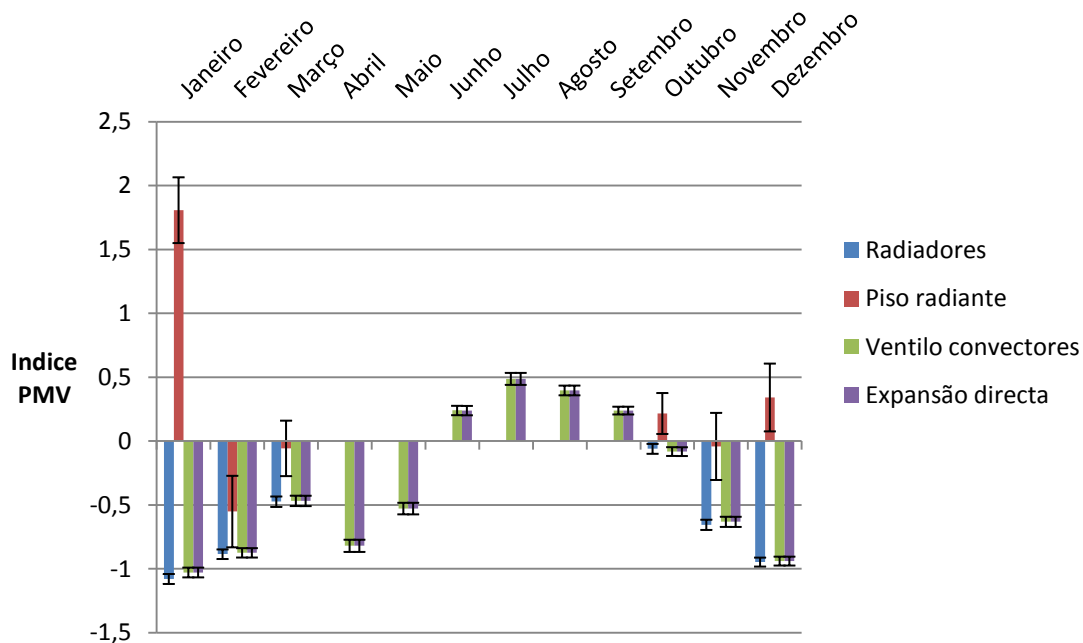


Figura 28 - Conforto - Auditório - Isolamento nível I

Como efeito dos fenómenos anteriormente descritos, o conforto térmico proporcionado pelo piso radiante, apesar de não se apresentar com maus resultados (Figura 28), acresce de um intervalo de confiança elevado. Em termos estatísticos, não é possível apresentar esta média como um valor que descreve a amostra, precisamente devido ao intervalo largo que apresenta. Esta média resulta sim de uma subida e descida do índice PMV. Portanto, o conforto térmico, apesar de representar um valor médio razoável, pontualmente, ao longo do mês, não o foi.

Os restantes sistemas apresentam um nível razoável de conforto e não existem diferenças significativas no conforto proporcionado entre os mesmos.

O auditório apresenta um comportamento peculiar. A informação relativa ao comportamento dos diferentes sistemas de climatização é apresentada no anexo A, nas figuras: Figura A 18, Figura A 19, Figura A 17 e Figura A 20.

5.4.2. Isolamento - nível II

Consumo

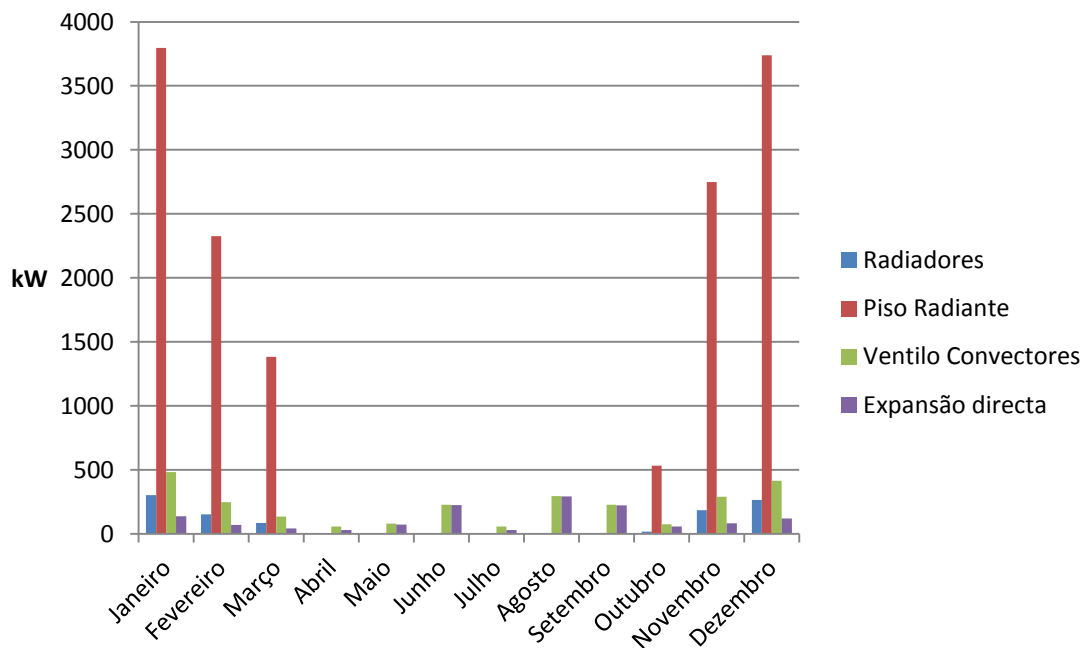


Figura 29 - Consumo – Auditório - Isolamento nível II

O piso radiante, no que concerne ao consumo, revela-se ineficaz. A tarefa de análise é facilitada, uma vez que todos os sistemas vêm o seu consumo cair para menos de metade. A reação visualizada no Figura 29 é idêntica à reação do mesmo espaço com o nível I de isolamento. Em todos os sistemas mantém-se a mesma ordem de consumo.

Conforto

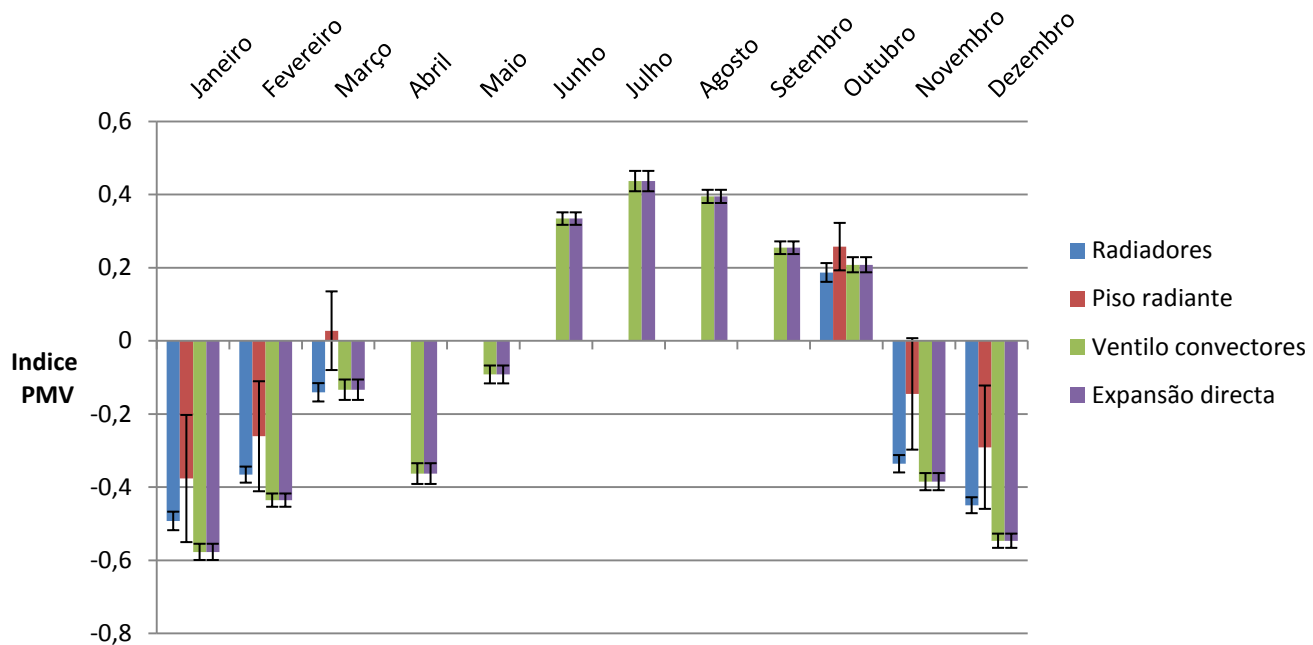


Figura 30 - Conforto - Auditório - Isolamento nível II

Ao nível de conforto as mudanças são animadoras. Todos os sistemas permitem um conforto num intervalo -0,6 a 0,5, representando uma melhoria bastante positiva, face ao anterior isolamento, onde se obtinham valores ligeiramente inferiores a -1. Ao nível dos sistemas, os ventilo convectores mantêm-se equiparados com a expansão direta. Os radiadores, desta vez, revelam maior nível de conforto durante o período testado. Verifica-se que o largo intervalo de confiança, associado ao piso radiante e ao seu funcionamento instável, não permite classificá-lo como um sistema com alto nível de conforto.

No nível II de isolamento, o comportamento continua, de certa forma, particular, como se pode verificar na Figura A 9, onde ainda se pode verificar o comportamento dos restantes sistemas: na Figura A 5, Figura A 1 e na Figura A 13

5.5. Análise geral aos resultados:

Uma cuidada análise aos resultados expostos anteriormente é elaborada nos pontos seguintes, fazendo a distinção por espaços:

5.5.1. Quarto

O sistema de radiadores mantém-se indiferente a nível do consumo com o aumento do isolamento, no entanto, revela uma melhora no conforto proporcionado, entre meio ponto e ponto e meio na escala de PMV. Ainda assim, apresenta alguma dificuldade em garantir níveis mínimos de conforto.

O piso radiante é duplamente o mais beneficiado no que se refere ao isolamento, visto que reduz o seu consumo em 70% e aumenta os níveis de conforto entre meio ponto e um ponto.

Os sistemas de ventilo-convectores e de expansão direta, em termos de conforto, apresentam-se de forma idêntica. No caso de nível II de isolamento, o mesmo acontece para o consumo. No nível I, os ventilo-convectores apresentam um valor de consumo duplicado, enquanto o sistema rival praticamente não é afetado. Da mesma forma que os radiadores, ambos oferecem um nível de conforto muito reduzido, contudo os consumos são mais baixos quando comparados ao piso radiante. Deste modo, o nível II de isolamento, apesar de expor uma medida passiva, acaba por ser imprescindível neste respetivo espaço. Num primeiro momento, pela capacidade de atingir níveis de conforto minimamente aceitáveis; em seguida, por reduzir o consumo na maioria dos equipamentos e, por fim, porque melhora significativamente o conforto proporcionado por todos os sistemas.

Relativamente à questão do melhor sistema para o respetivo espaço, a resposta é concisa. O piso radiante expõe uma série de motivos que justificam a escolha, todavia, o seguinte é suficiente: é o único sistema que, relativamente a este espaço, é capaz de manter o conforto a níveis aceitáveis.

No que concerne à questão primordial, o preço do conforto, a resposta, apesar de simples, não é a mais agradável devido ao facto de ser uma variável pela qual é inevitável pagar o preço mais alto, de entre todos os sistemas testados. Pode dizer-se que o valor de consumo chega mesmo a duplicar, relativamente a outro sistema.

Este espaço revela-se um perfil de utilização muito particular, de tal forma que requer mais cuidados ao nível do conforto térmico.

5.5.2. Escritório

Neste espaço, a adição de isolamento resulta numa redução drástica do consumo no sistema de piso radiante, enquanto nos outros sistemas tende a manter-se ou a subir ligeiramente.

Ao nível do conforto, o aumento do isolamento torna o espaço mais quente, o que estabiliza mais o índice PMV, penalizando um pouco a estação quente.

Em suma, pode afirmar-se que a adição de isolamento é benéfica, contudo há cuidados a ter em atenção. Os factos das simulações apenas abrangerem os dois casos extremos da mesma forma, os resultados obtidos também foram extremos. Significa isto que, um nível de isolamento ligeiramente inferior ao nível II seria preferível, sobretudo sabendo que o valor investido reduz significativamente. De modo que, de acordo com os resultados obtidos, certamente é preferível o nível II de isolamento.

Facilmente se percebe também que os sistemas, como o piso radiante e os radiadores, são sistemas a descartar. O piso radiante oferece um consumo idêntico (ligeiramente superior) aos sistemas que permitem a refrigeração, no entanto, ao nível do conforto é incapaz de atingir os níveis propostos por estes sistemas. Os radiadores apresentam uma operação mais económica, contudo, o nível de conforto oferecido é mais reduzido do que no piso radiante.

Os ventilo-convectores e o sistema de expansão direta comportam-se de forma muito idêntica face às variáveis estudadas, sendo que no consumo, o sistema de expansão direta é ligeiramente mais económico, referente ao mesmo nível de conforto. Sendo assim, a escolha mais sensata recai sobre o sistema de expansão direta, pois não é o mais dispendioso e proporciona o mais alto nível de conforto. A escolha ainda pode ser reforçada pelo facto de este espaço revelar necessidades de arrefecimento no verão. No que diz respeito aos dois sistemas expostos primeiramente, conclui-se que estes não permitem arrefecimento. A possível escolha por um deles implicaria a instalação de um sistema de frio e os respetivos custos associados. A escolha do sistema de expansão direta é melhor justificada pelo facto de apresentar um consumo ligeiramente inferior aos ventilo-convectores. Os ventilo-convectores também reagem de forma dispendiosa a

invernos exigentes (este facto pode verificar-se na Figura 20, nos meses mais frios), ou seja, o investimento será menos seguro.

5.5.3. Sala de reuniões

A semelhança de comportamento entre este espaço e o anterior é notória. O comportamento, face ao isolamento, é o mesmo, assim como a reação do conforto térmico aos diferentes sistemas. Os resultados do consumo, apesar de não apresentarem os mesmos valores, fazem notar um crescimento proporcional face ao consumo dos mesmos sistemas no escritório. É óbvio que as escolhas recaem sobre o nível II de isolamento e o sistema de expansão direta, ficando, deste modo, o trabalho mais facilitado. Possivelmente pode-se achar que foi uma escolha pouco inteligente, a de utilizar estes espaços com o mesmo perfil de utilização, a mesma atividade física, o mesmo vestuário, o mesmo horário, no entanto permite retirar algumas conclusões.

Visto que, de um caso para o outro, apenas se manteve o template *activity*, os resultados de conforto mantiveram-se, assim como a reação ao isolamento e, por fim, o consumo sobe proporcionalmente. Pode-se concluir, desta forma, que as diferenças de comportamento dos diferentes sistemas apenas estão associadas aos valores do template *activity*. Implica isto que a escolha dos sistemas de climatização também esteja apenas associada a este template.

5.5.4. Auditório

A escolha neste caso torna-se mais complicada porque a rivalidade, em aquecimento, entre os sistemas de expansão direta e os sistemas de radiadores, é elevada. Se um sistema apresenta melhor conforto, o outro apresenta melhores consumos e vice-versa. Apesar destas contradições, uma análise mais profunda permite verificar que o sistema de expansão direta apresenta-se mais vantajoso. As razões são várias. A primeira e fulcral razão é o seu consumo mais contido: “1000 *kilowatts hora*” anuais versus “1400 *kilowatts hora*”, consumidos pelo sistema de radiadores, representando uma diferença significativa. Em segundo lugar apresenta-se o conforto que o equipamento escolhido penaliza, sendo essa penalização mínima, e, na pior das situações, atinge apenas 0,1 pontos de diferença. Diferença esta que pode ser significativa, no entanto encontrando-se este espaço num excelente nível de conforto, essa penalização é suprimida pela redução que se verifica no consumo.

Finalmente, o isolamento revela-se um fator muito importante e, neste caso, um fator imprescindível, representando, sem dúvida alguma, um investimento fundamentado.

Quanto ao piso radiante, mais uma vez pode-se referir que é um sistema não aconselhado para este tipo de espaço, tendo em conta a sua geometria e o seu pé direito, o qual é de grandes dimensões. Estes fatores combinados originam uma instabilidade no sistema de controlo que acaba, por se refletir no conforto térmico pontual do edifício.

6. Conclusões

Foram elaboradas diversas simulações dinâmicas, utilizando o *software Designbuilder* associado ao módulo *EnergyPlus*, explorando as variáveis, Isolamento e perfil de utilização, sendo que esta ultima contempla um vasto leque de variáveis que caracterizam um determinado espaço e as pessoas que o frequentam.

Tendo em vista sempre a comparação entre os diferentes sistemas de climatização, procurando a melhor solução de forma a minimizar o consumo e maximizar o conforto térmico. O combinar destes estudos permite chegar às diversas conclusões apresentadas de seguida:

O sistema de ventilo-convectores reage de forma mais dispendiosa a invernos mais exigentes que o sistema de expansão direta. É possível verificar este fenómeno nas situações em que estes dois sistemas apresentam consumos idênticos e, quando subitamente há um mês mais frio, o sistema de ventilo-convectores aumenta o seu consumo bastante mais que o sistema de expansão direta. Por fim pode ainda afirmar-se que esta situação se faz sentir mais quanto menor for o nível de isolamento, ou seja, o isolamento tende a beneficiar mais o sistema de ventilo-convectores levando-o à igualdade da expansão direta.

O sistema de piso radiante revela-se pouco eficiente em determinadas situações construtivas, neste caso o auditório foi onde mais se verificou esta situação. O facto de este espaço possuir um pé direito de grandes dimensões e uma geometria menos convencional leva a que, aparentemente, este sistema não seja capaz de fazer o controlo da temperatura da melhor forma, criando mesmo instabilidades pontuais e bruscas na climatização que acabam por se refletir no conforto e no consumo de forma negativa.

Contudo, o sistema de piso radiante, em aquecimento revela-se o sistema capaz de gerar maior nível de conforto na maioria das situações testadas, penalizando no consumo. Revelando-se a solução ideal para situações existentes onde o isolamento é reduzido e existe necessidade de altos níveis de conforto.

Os radiadores, neste estudo, revelam-se o sistema menos competitivo, contrariando as práticas atuais, em moradias por exemplo. Há que ter em conta o peso do custo inicial do sistema, na sua escolha, neste estudo esta variável não foi posta em causa e,

portanto, a resposta a esta contradição provavelmente reside nesse facto. Revelando-se na atualidade, o custo inicial, uma variável com elevado peso na opção por um sistema de climatização.

Em relação à validade dos resultados obtidos pode afirmar-se que não foram detetados indícios que os pusessem em causa. A situação mais relevante diz respeito aos resultados obtidos para o sistema de piso radiante no auditório. Nesta situação o tratamento dos dados poderia gerar falta de validade nos resultados, na medida em que a média de valores era aceitável no entanto não representava de todo a amostra de resultados horários. Dai a inclusão do intervalo de confiança no tratamento de todos os dados. Contudo o fenómeno verificado nesta situação parece intimamente ligado ao comportamento real do piso radiante em espaços destes, pois o fenómeno repetiu-se nas diferentes simulações efetuadas, não levando a acreditar tratar-se de uma lacuna de *software*, nem de introdução errada de dados.

Ainda ligado a lacunas de *software*, pode mais uma vez, afirmar-se que o sistema de piso radiante é passível de ser utilizado como terminal de arrefecimento, no entanto tal estudo não foi desenvolvido devido a limitações do módulo *EnergyPlus*, no qual os cálculos foram baseados. Este fator condicionante pode ser influenciador dos resultados finais pois o sistema de piso radiante revelou-se bastante competitivo, no entanto tinha associada a incapacidade de frio, colocando-o de “fora” para a estação quente.

6.1. Notas finais e trabalhos futuros

Das variáveis estudadas, o perfil de ocupação, revela-se a variável com mais peso na opção por um determinado sistema AVAC. Foram realizadas simulações em que esta variável foi mantida, alterando outras como a área a climatizar, e resultou na repetição dos perfis de consumo e de conforto quando testados ao mesmo nível de isolamento. Esta afirmação em conjunto com a dispersão de resultados associados às simulações em que o perfil de ocupação é alterado permite chegar à conclusão referida.

O isolamento, embora não seja o principal objeto de estudo desta dissertação, revela-se um sistema passivo com resultados extremamente positivos no conforto térmico e, no próprio consumo energético dos sistemas em estudo.

O aumento do nível de isolamento revela, portanto, resultados positivos na maioria das situações, no entanto, é no sistema de piso radiante que a reação é mais

benéfica. O aumento excessivo de isolamento é negativo no comportamento do edifício na estação quente, principalmente nos casos em que as cargas internas são mais elevadas. Face à conclusão relativa à diferença de comportamento dos sistemas de expansão direta e dos de ventilo-convectores em diferentes condições climáticas, o fator clima, embora não abordado neste estudo, parece revelar-se uma variável a ter em conta na escolha de um determinado sistema AVAC.

Embora não tenha sido abordada no presente estudo, é de todo conveniente remeter esta variável para estudos posteriores.

Segundo os dados extraídos, nos edifícios públicos é preferível a utilização de um sistema de expansão direta. Conclusão que vai de encontro às práticas atuais. Em contraste com os radiadores que se manifestam a solução mais comum nas moradias e, no presente estudo não. Levando a crer, como já foi referido, que o peso dado ao custo inicial dos sistemas é elevado na sociedade atual. Como tal não é menos importante remeter também esta variável para possíveis estudos futuros.

Tendo em vista trabalhos futuros, existem ainda mais alguns aspetos passíveis de serem analisados. Um deles passa pela análise de diferentes fontes energéticas no mesmo contexto do trabalho desenvolvido. Ainda se pode analisar de forma discriminada o contributo das variáveis integradas no perfil de utilização.

7. Bibliografia

ADENE - [em linha]. [Consult. 15-08-2011]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.adene.pt/pt-pt/SubPortais/GERE/Documents/FichadeInformacaoGeo-Industria.pdf>>.

ALMEIDA, HÉLDER SILVA - ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS UTILIZANDO AS ABORDAGENS ANALÍTICA E ADAPTATIVA. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, 2010.

ANSI/ASHRAE- Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2004.

ASHRAE - 2000 ASHRAE Handbook - HVAC Systems and Equipment. W. Stephen Comstock.

ASHRAE - ASHRAE Fundamentals Handbook. 1997.

BAKER, N; STANDEVEN, M. - Thermal comfort for free-running buildings. Energy and Buildings. (1996), p. 175-182.

BECK, S. M. B. [et al.] - A novel design for panel radiators. Applied Thermal Engineering. ISSN 1359-4311. Vol. 24, n.º 8-9 (2004), p. 1291-1300.

CHARLES, KE- Fanger's Thermal Comfort and Draught Models. Ottawa: Institute for Research in Construction National Research Council of Canada, 2003.

CHOWIE - [em linha]. [Consult. 20-06-2011]. Disponível em WWW:<URL:http://chowlaiwan-physicsproject2009.blogspot.com/2009_06_01_archive.html>.

CLAIA - [em linha]. [Consult. 20-06-2011]. Disponível em WWW:<URL:http://bluwiki.com/go/File:PMV_PPD.JPG>.

DEAR, RICHARD DE - RP-884 Adaptive Model Project [em linha]. [Consult. 2011-06-12]. Disponível em WWW:<URL:http://aws.mq.edu.au/rp-884/ashrae_rp884_home.html>.

DEAR, RJ DE; BRAGER, GS - Thermal comfort in naturally ventilated buildings. Energy and Buildings. (2002).

DJONGYANG, NOËL; TCHINDA, RENÉ; NJOMO, DONATIEN - Thermal comfort: A review paper. Renewable and Sustainable Energy Reviews. ISSN 1364-0321. Vol. 14, n.º 9 (2010), p. 2626-2640.

ENAT - [em linha]. [Consult. 18-04-2011]. Disponível em WWW:<URL:http://www.enat.pt/media/345862/toalheiro_branco_236x214.jpg>.

EUROPEIA, COMISSÃO - DIRECTIVA 2002/91/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 16 de Dezembro de 2002 relativa ao desempenho energético dos edifícios. Jornal Oficial das Comunidades Europeia. (2003).

FANGER, PO- Thermal comfort, analysis and application in environmental engineering: Danish Technical Press. 1970.

FROTA, ANÉSIA BARROS; SCHIFFER, SUELI RAMOS - Manual do conforto térmico. 5ª edição. São Paulo: Studio Nobel, 2001. ISBN 85-85445-39-4.

GAGGE, AP; FOBELTS, AP; BERGLUND, LG - A standard predictive index of human response to the thermal environment. ASHRAE Transactions. (1986).

GEO THERM - [em linha]. [Consult. 14-08-2011]. Disponível em WWW:<URL:<http://geotherm.co.hu/en/tag/cop/>>.

HENSEN, JLM - On the thermal interaction of building structure and heating and ventilating system. Technische Universiteit Eindhoven, 1991.

ISOLANI, PIERALDO - Eficiência energética nos edifícios residenciais. Enerbuilding. (2008).

LIN, Z; DENG, S - A study on the thermal comfort in sleeping environments in the subtropics—developing a thermal comfort model for sleeping environments. Building and Environment. (2008).

LUXMAGNA - LM Pisoradiante [em linha]. [Consult. 23-06-2011]. Disponível em WWW:<URL:http://www.luxmagna.pt/pdfs/LM_pisoradiante.pdf>.

MARTINS, JOÃO GUERRA - Climatização - Condições técnicas de execução: Materiais.

NICOL, F. ; HUMPHREYS, M. - Derivation of the adaptive equations for thermal comfort in free-running

buildings in European standard EN 15251. Building and Environment 45. (2010).

NILSONSVIDAL - [em linha]. [Consult. 29-04-2011]. Disponível em WWW:<URL:http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Instala%C3%A7%C3%A3o_t%C3%ADpica_de_equipamento_Split_System.JPG>.

OROSA, JOSÉ A - Research on general thermal comfort models. European Journal of Scientific Research. (2009).

8. Anexos

Anexo A

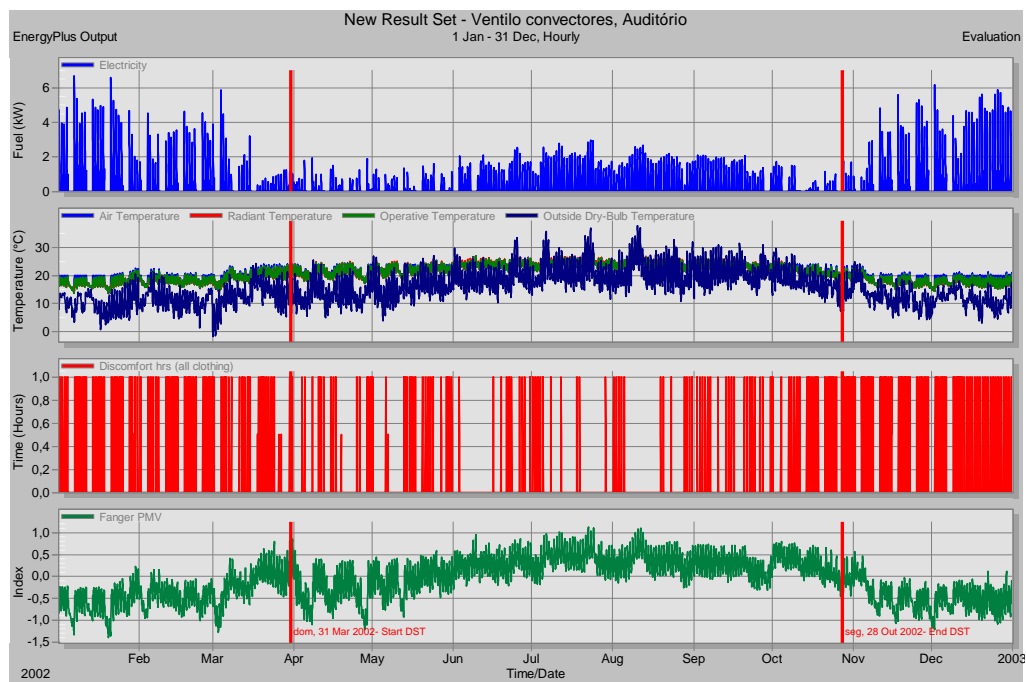


Figura A 1 - Resultados - Ventiló-convectores - Auditório - Nível II de isolamento

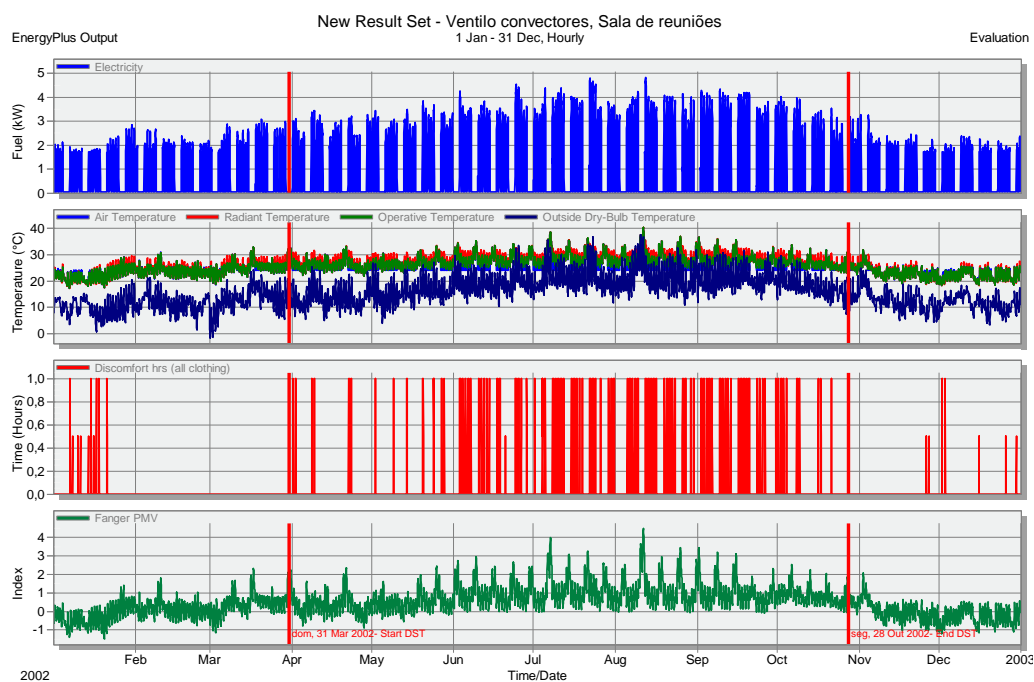


Figura A 2 - Resultados - Ventiló-convectores – Sala de reuniões - Nível II de isolamento

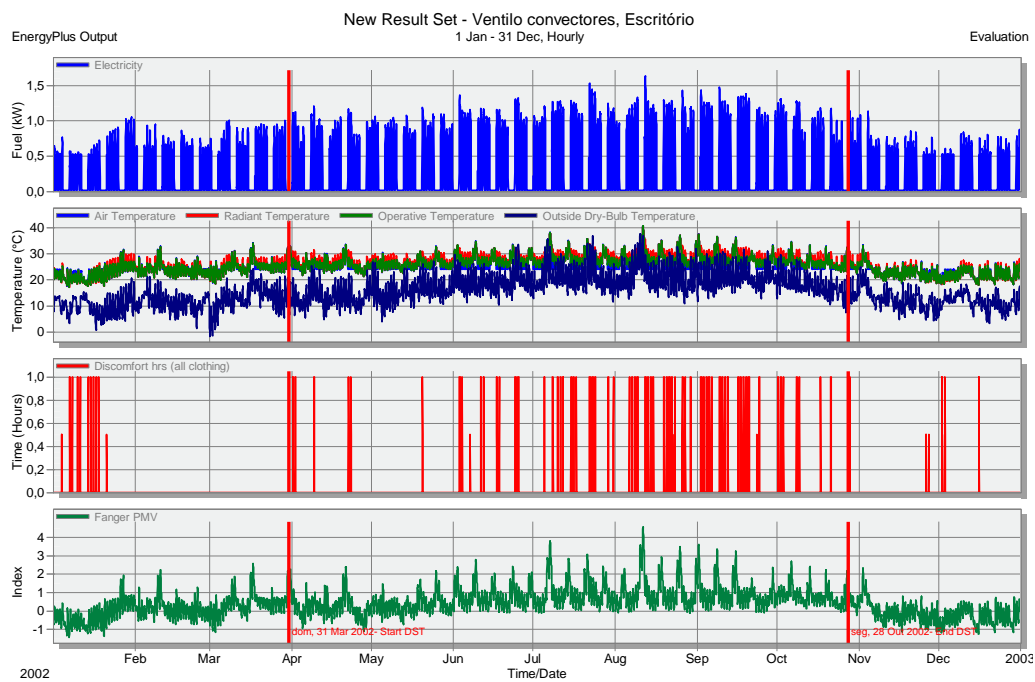


Figura A 3 - Resultados - Ventiló-convectores - Escritório - Nível II de isolamento

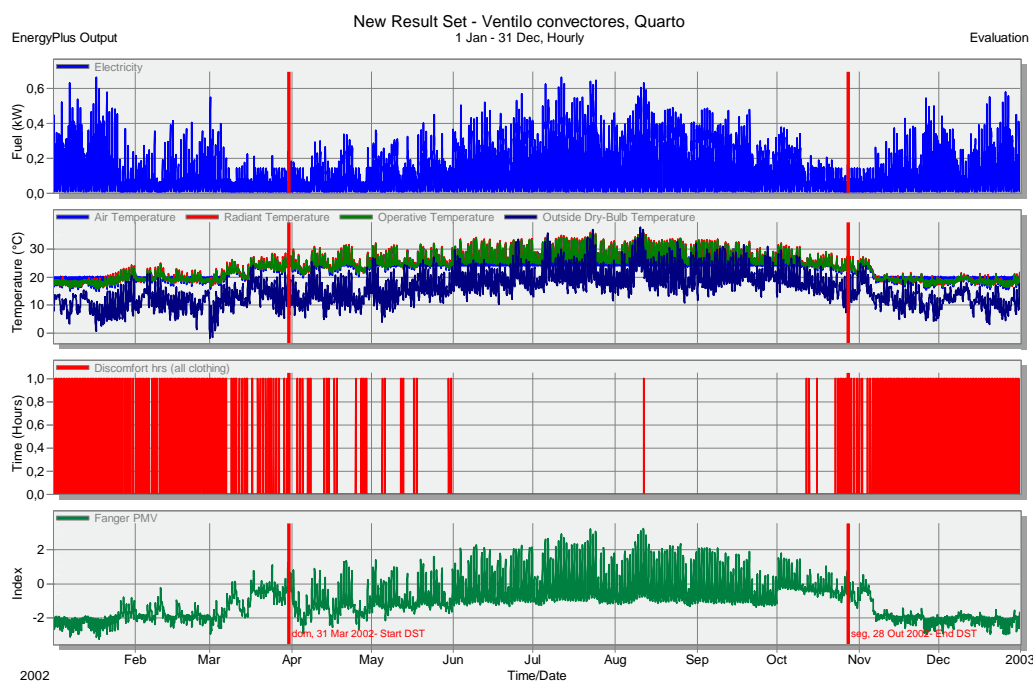


Figura A 4 - Resultados - Ventiló-convectores - Quarto - Nível II de isolamento

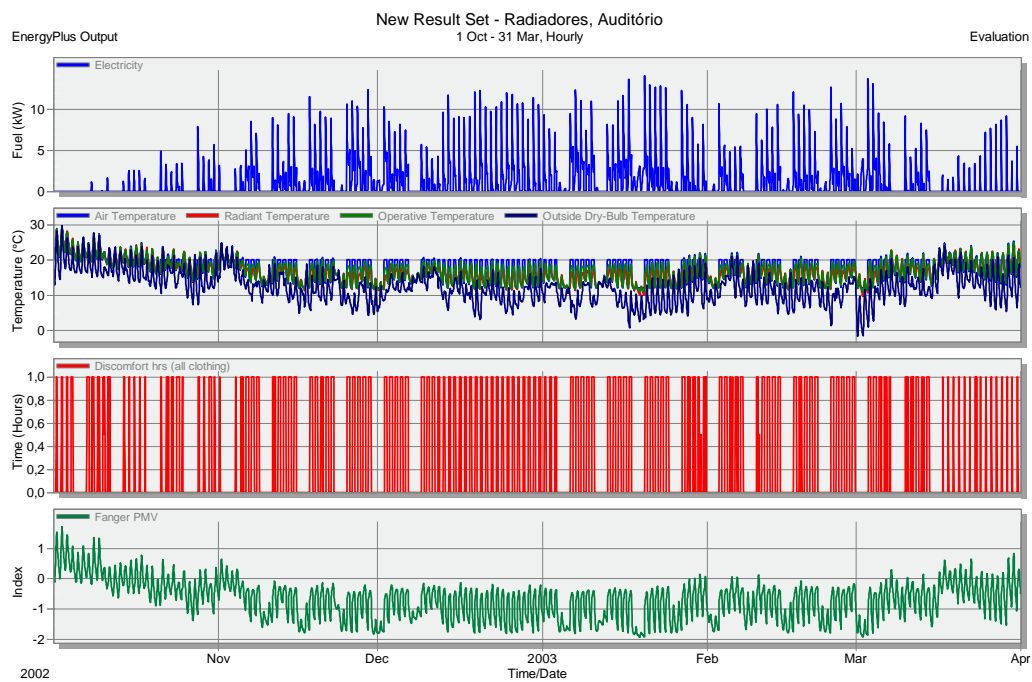


Figura A 5 - Resultados – Radiadores - Auditório - Nível II de isolamento

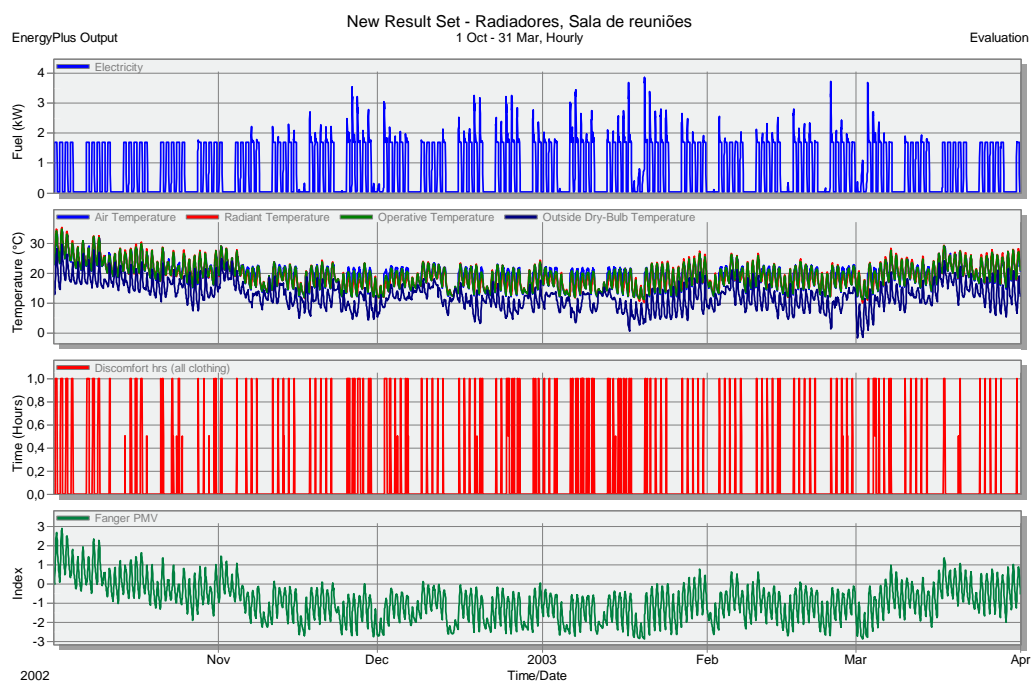


Figura A 6 - Resultados – Radiadores – Sala de reuniões - Nível II de isolamento

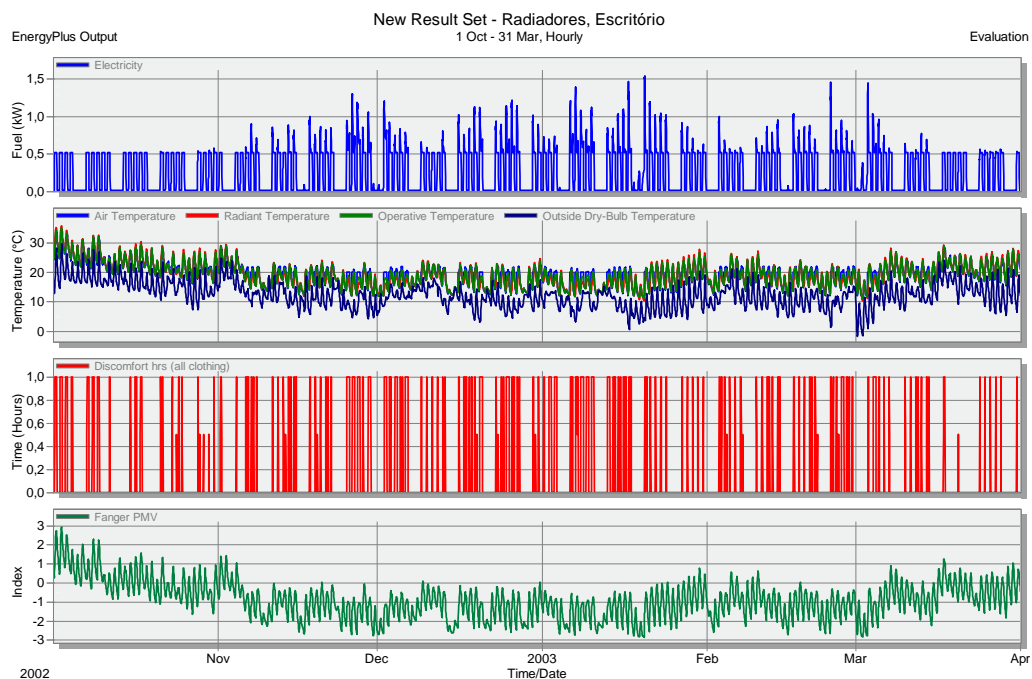


Figura A 7 - Resultados – Radiadores - Escritório - Nível II de isolamento

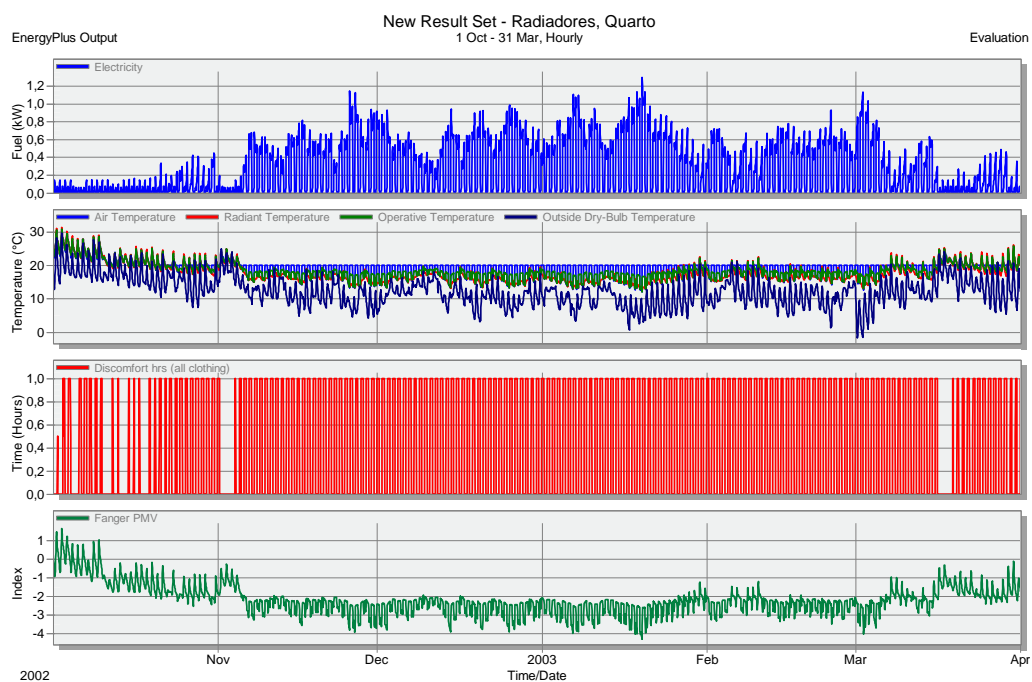


Figura A 8 - Resultados – Radiadores - Quarto - Nível II de isolamento

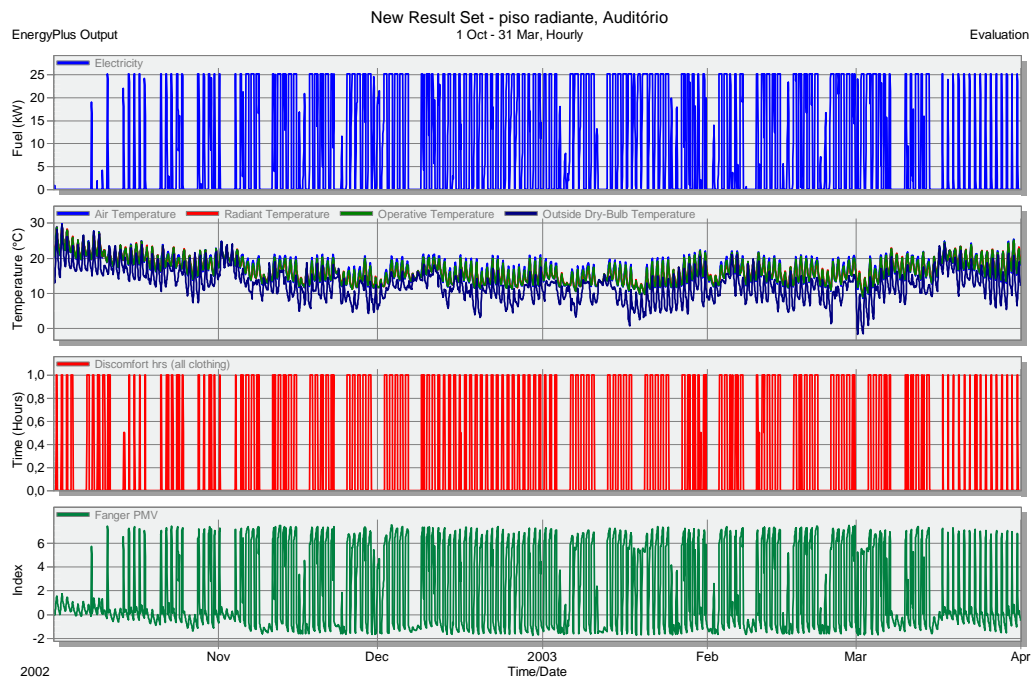


Figura A 9 - Resultados - Piso radiante - Auditório - Nível II de isolamento

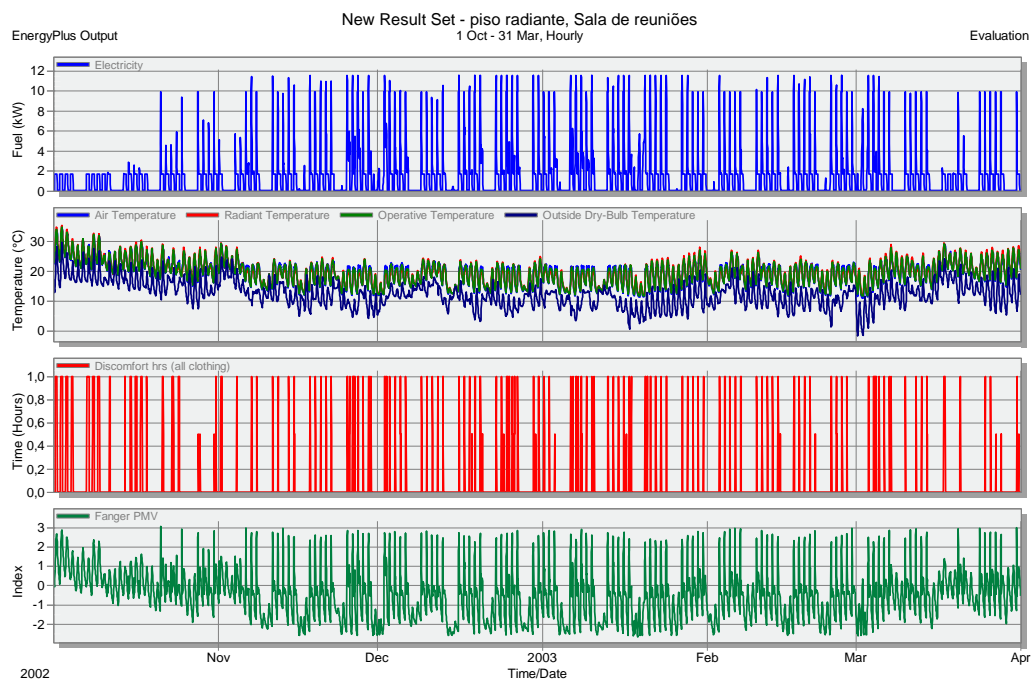


Figura A 10 - Resultados – Piso radiante – Sala de reuniões - Nível II de isolamento

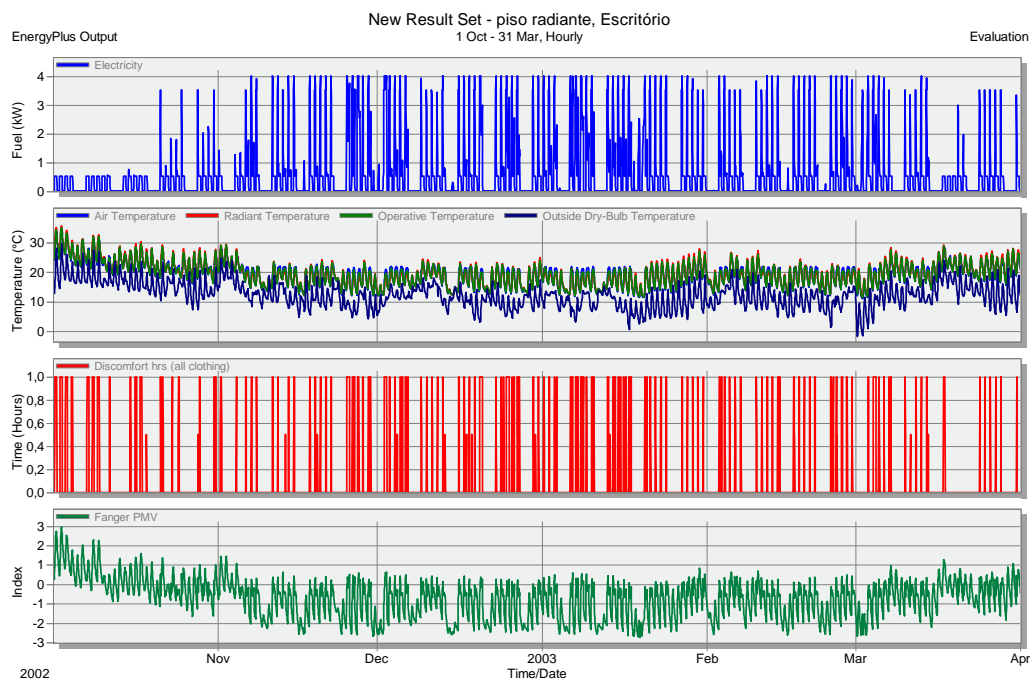


Figura A 11 - Resultados – Piso radiante – Escritório - Nível II de isolamento

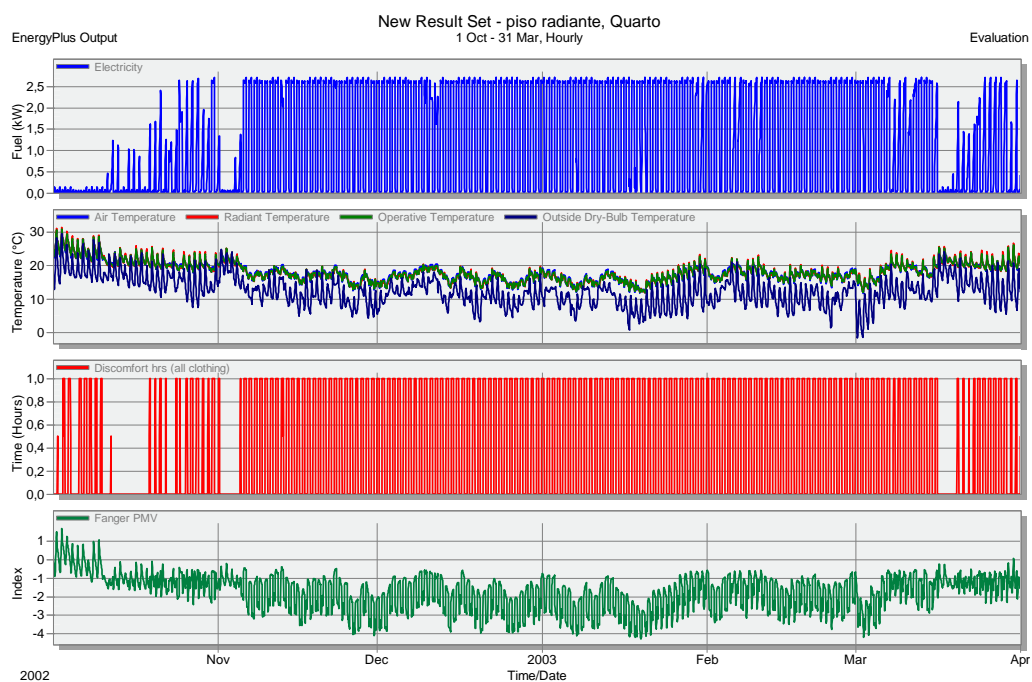


Figura A 12 - Resultados – Piso radiante – Quarto - Nível II de isolamento

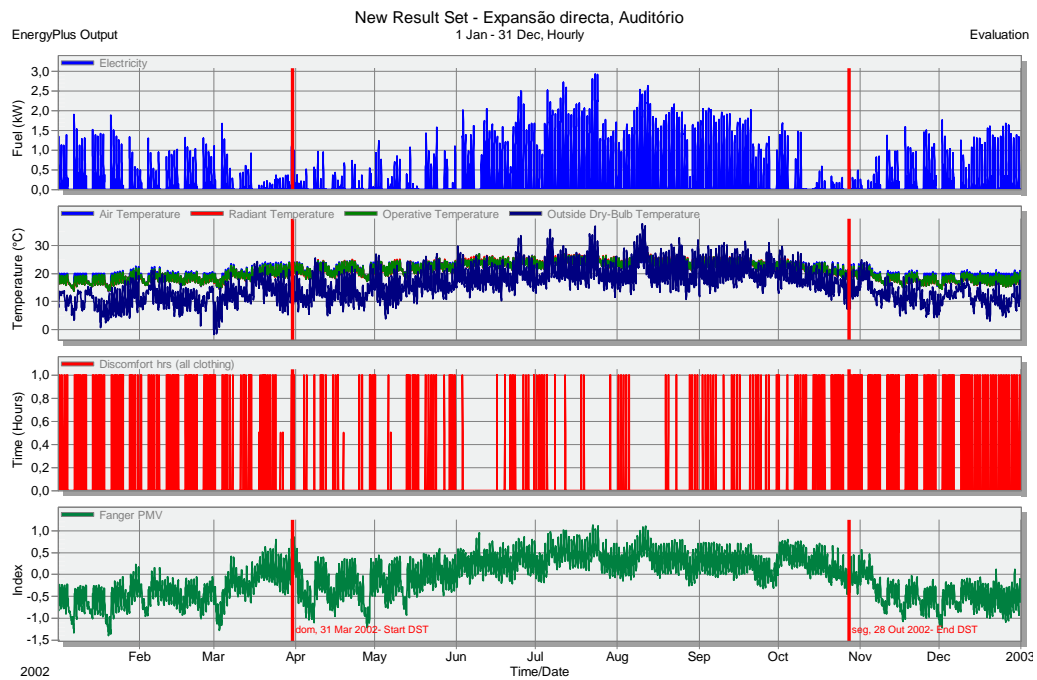


Figura A 13 - Resultados - Expansão direta - Auditório - Nível II de isolamento

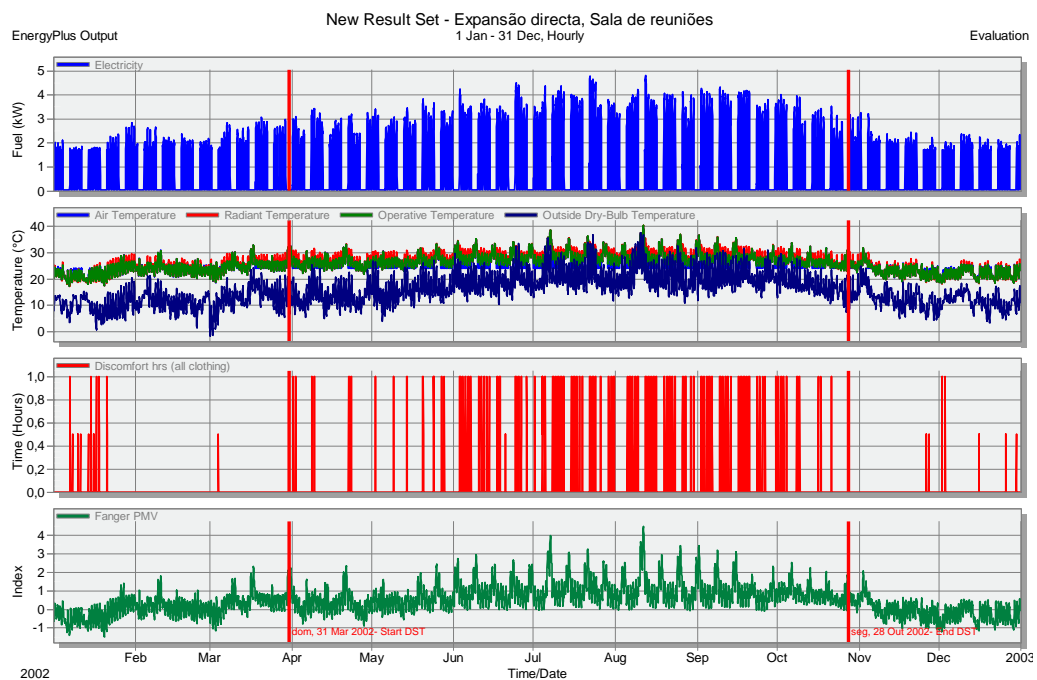


Figura A 14 - Resultados - Expansão direta - Sala de reuniões - Nível II de isolamento

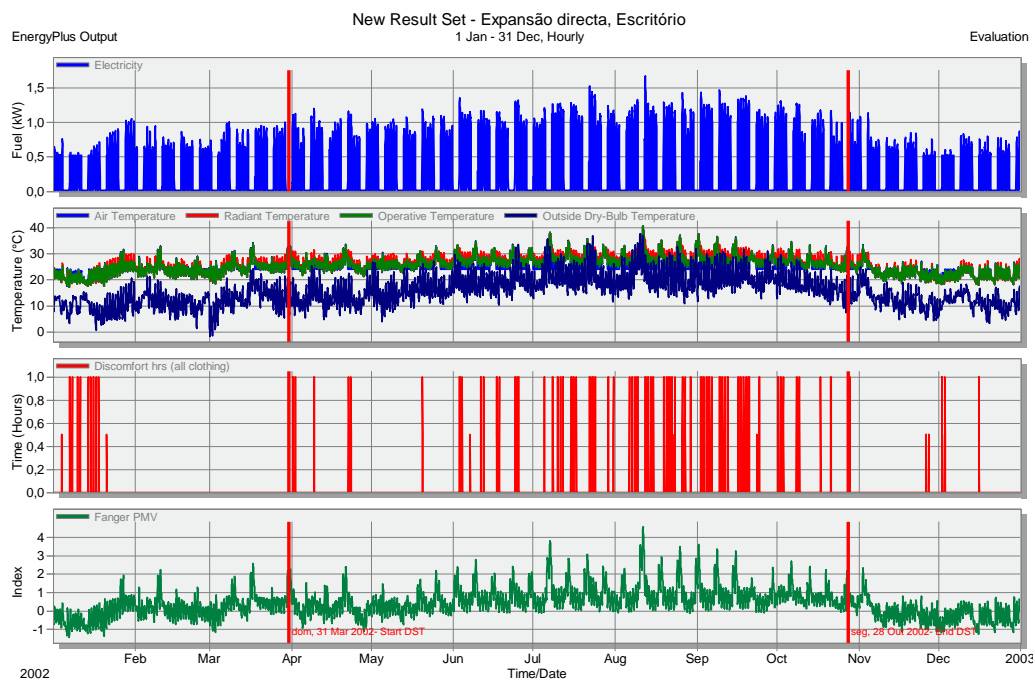


Figura A 15 - Resultados - Expansão direta - Escritório - Nível II de isolamento

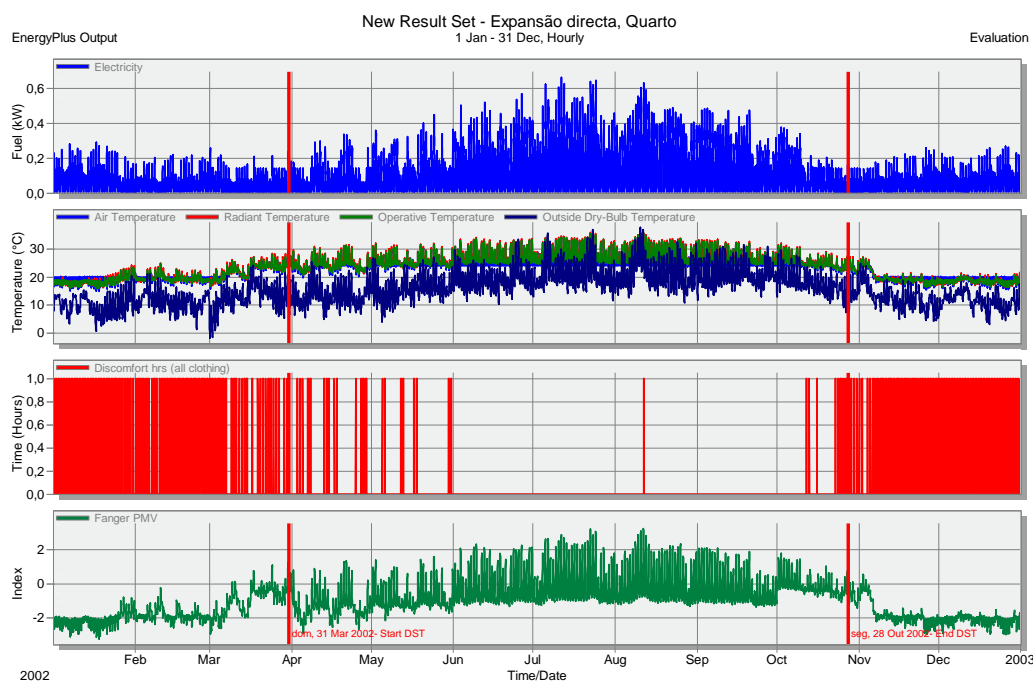


Figura A 16 - Resultados – Expansão direta – Quarto - Nível II de isolamento

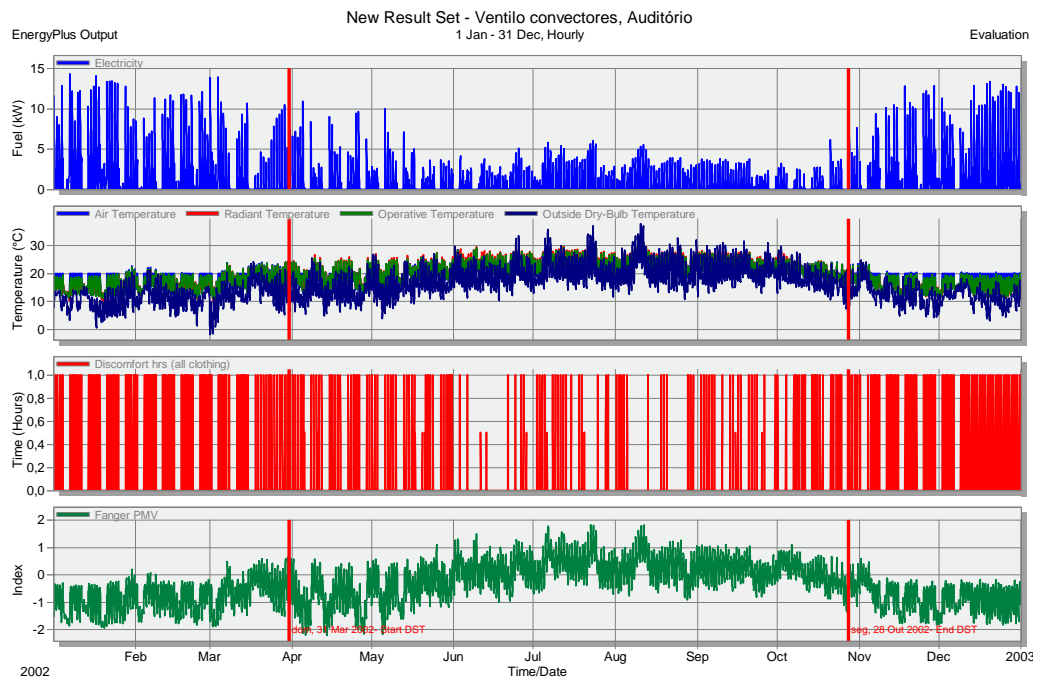


Figura A 17 - Resultados - Ventiló-convectores - Auditório - Nível I de isolamento

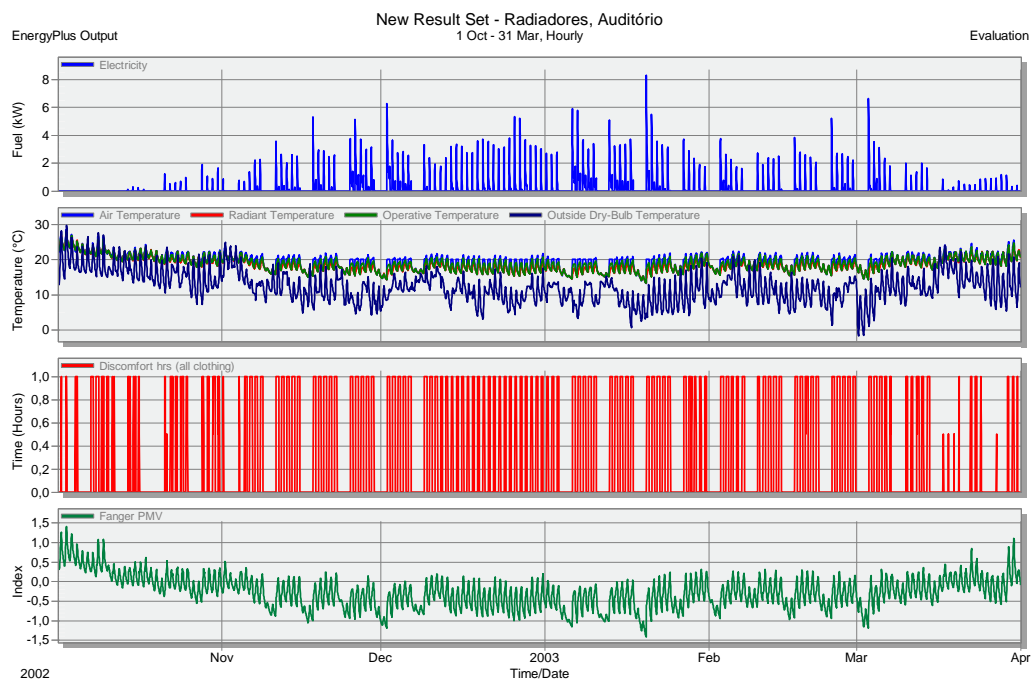


Figura A 18 - Resultados - Radiadores - Auditório - Nível I de isolamento

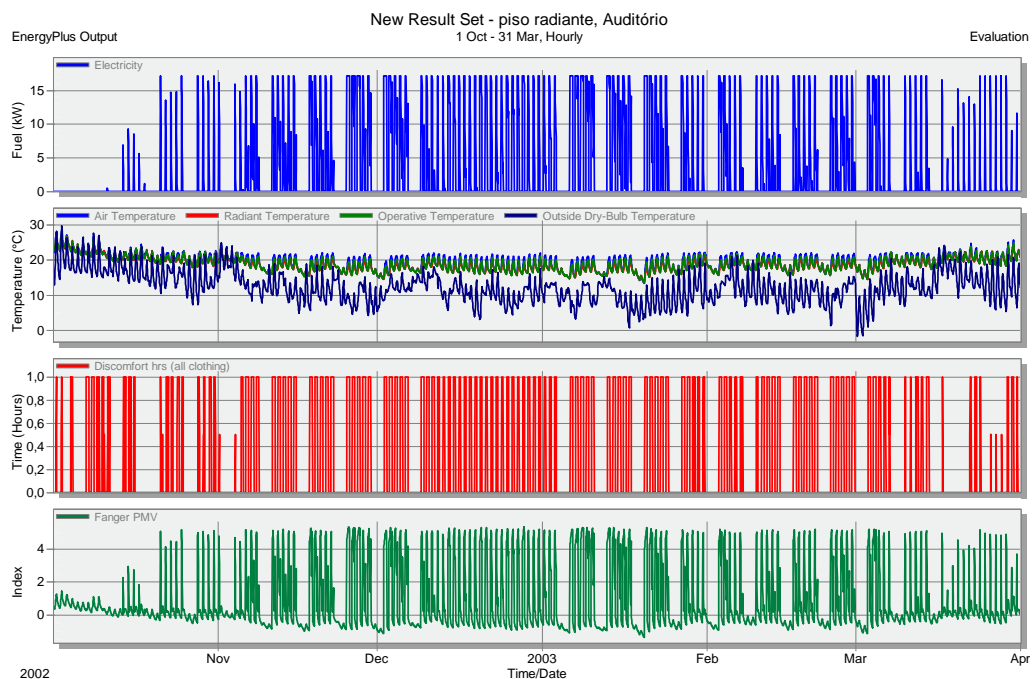


Figura A 19 - Resultados – Piso radiante - Auditório - Nível I de isolamento

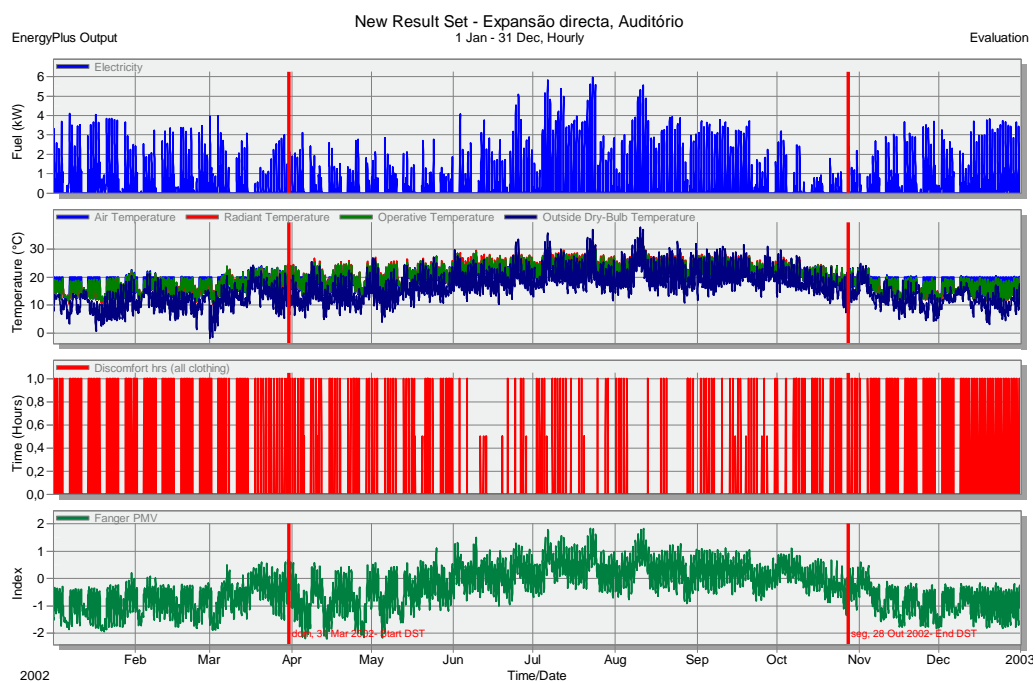


Figura A 20 - Resultados – Expansão directa - Auditório - Nível I de isolamento

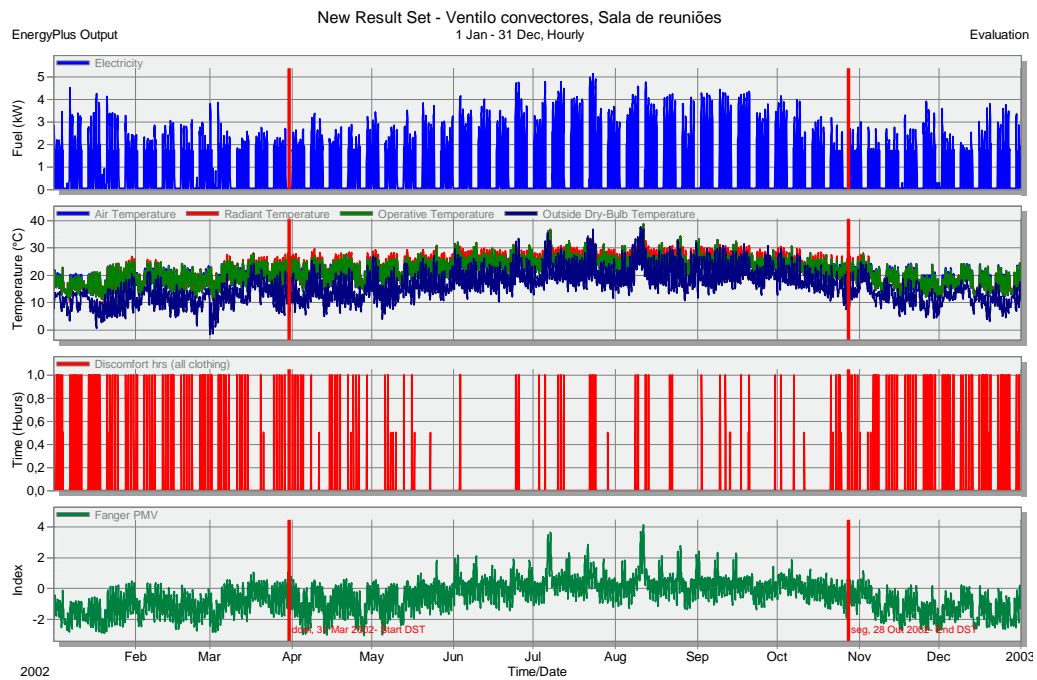


Figura A 21 - Resultados – Ventiladores – Sala de reuniões - Nível I de isolamento

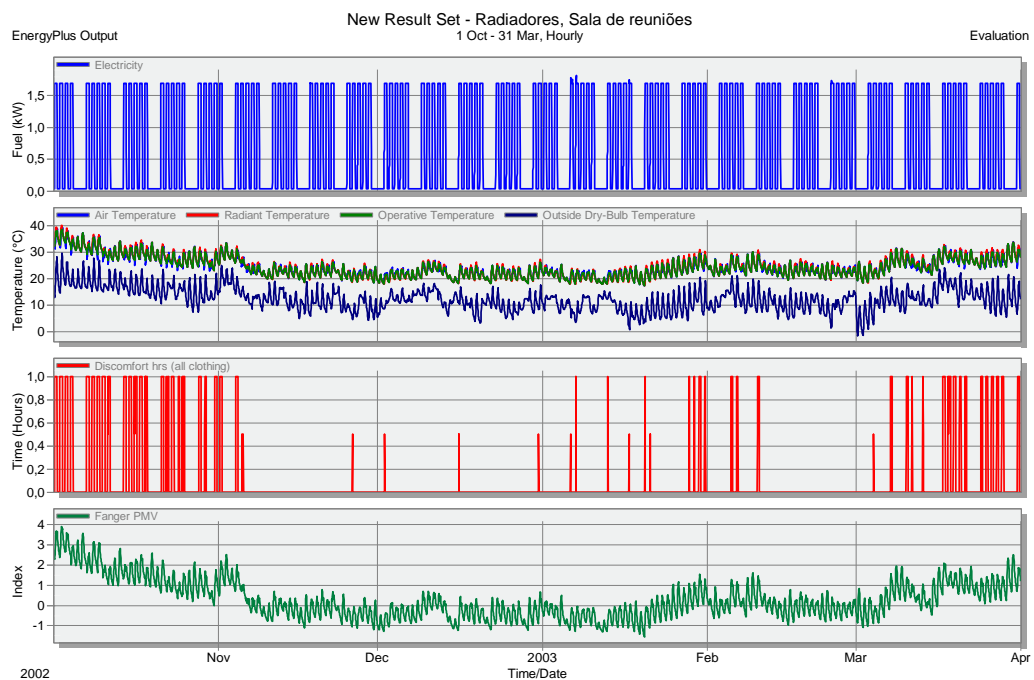


Figura A 22 - Resultados – Radiadores – Sala de reuniões - Nível I de isolamento

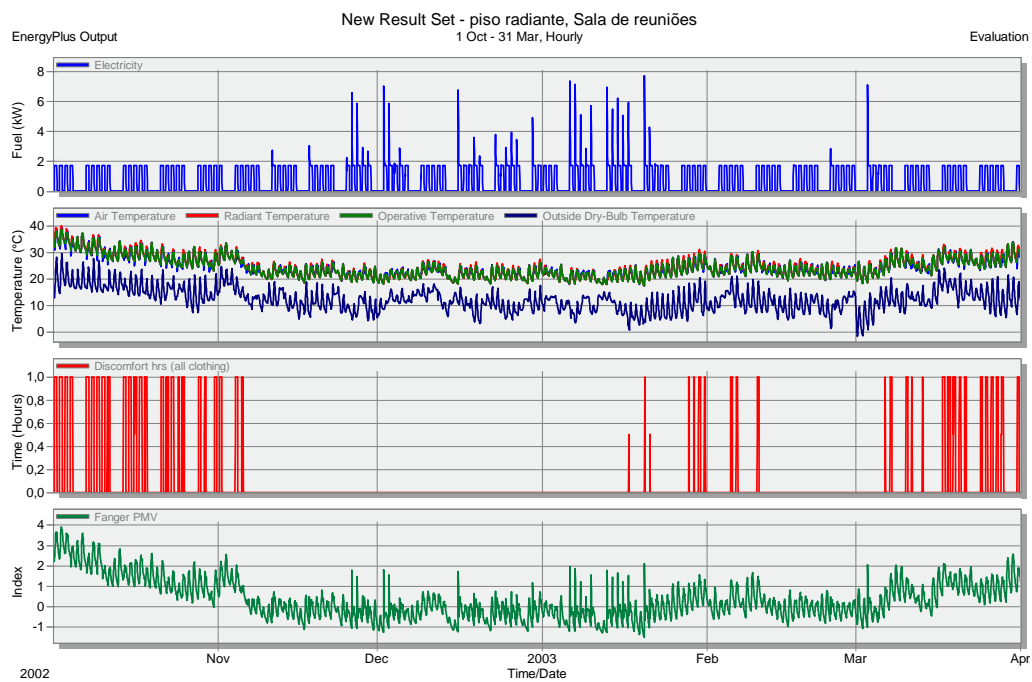


Figura A 23 - Resultados – Piso radiante – Sala de reuniões - Nível I de isolamento

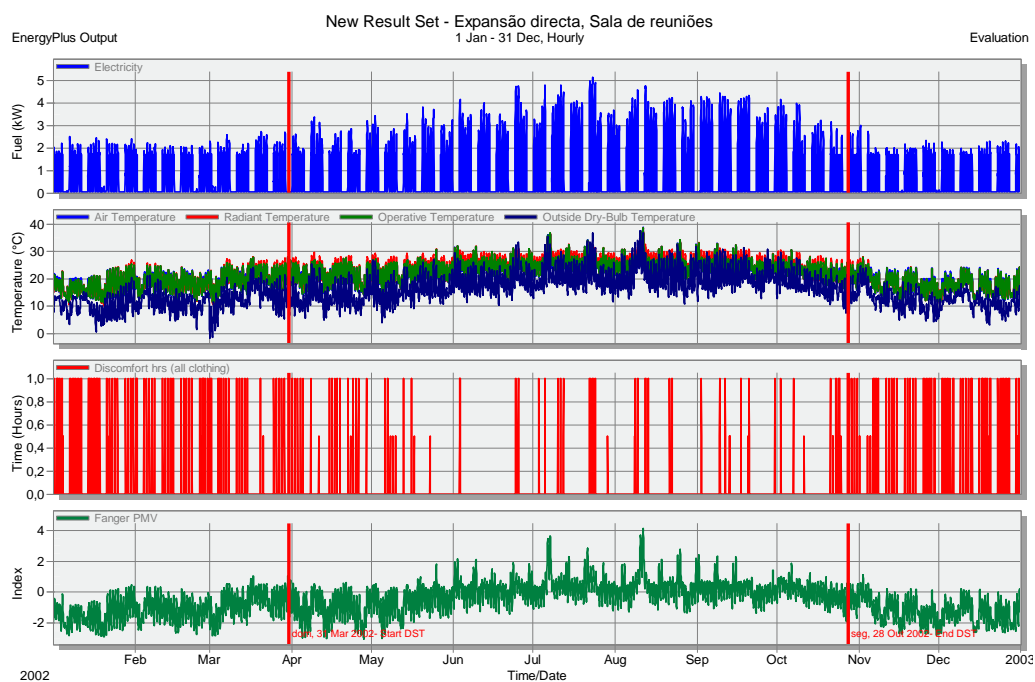


Figura A 24 - Resultados – Expansão directa – Sala de reuniões - Nível I de isolamento

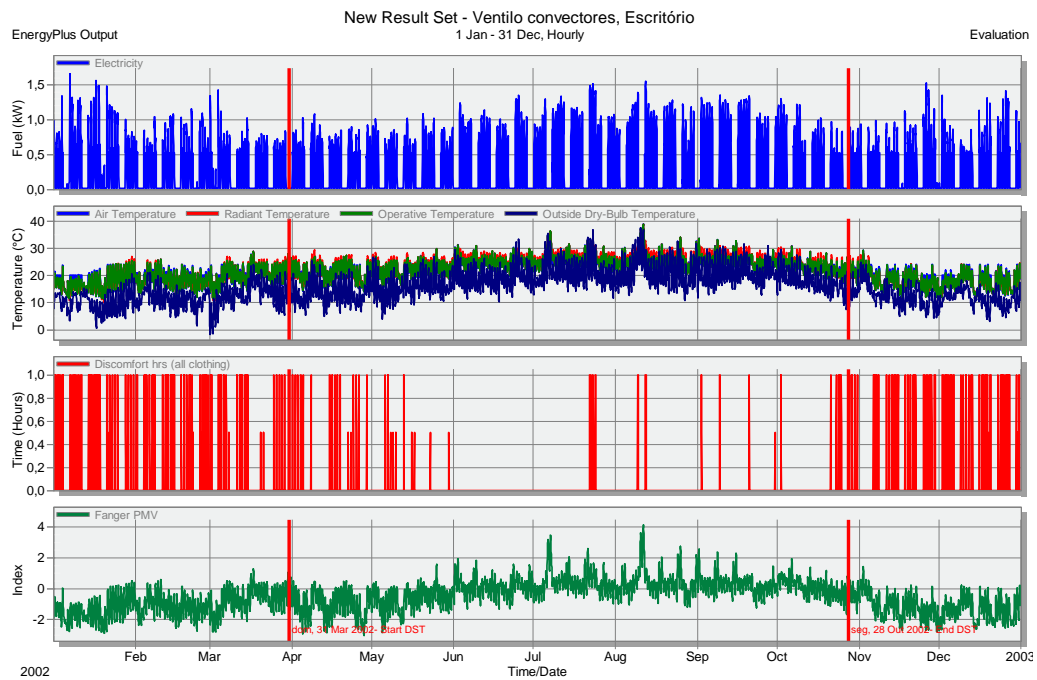


Figura A 25 - Resultados - Ventiló-convectores - Escritório - Nível I de isolamento

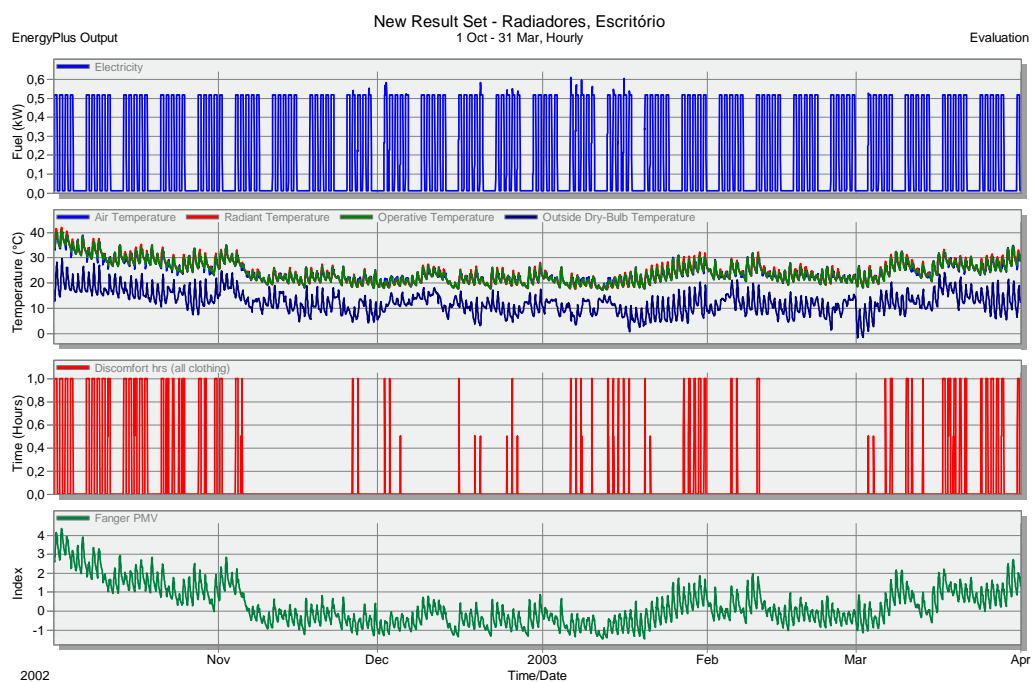


Figura A 26 - Resultados – Radiadores – Escritório - Nível I de isolamento

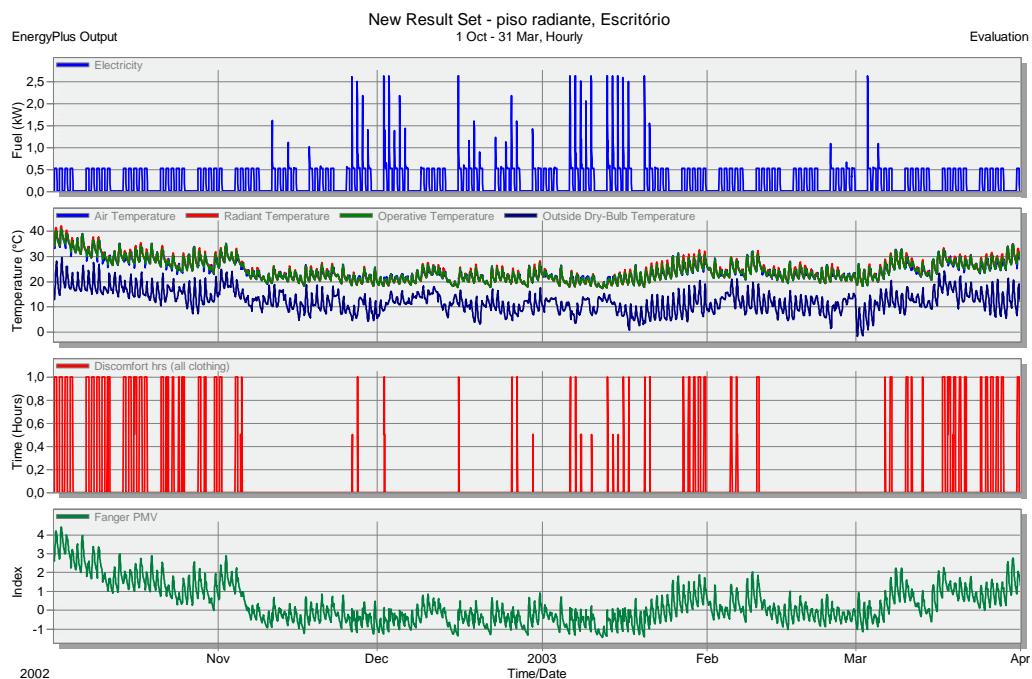


Figura A 27 - Resultados – Piso radiante – Escritório - Nível I de isolamento

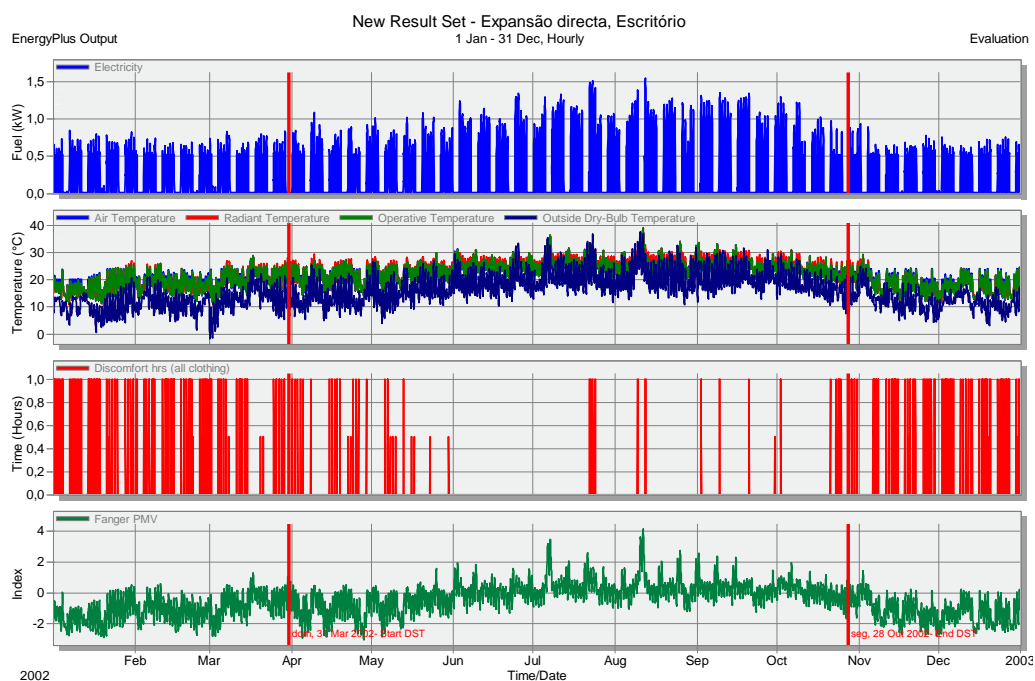


Figura A 28 - Resultados – Expansão direta – Escritório - Nível I de isolamento

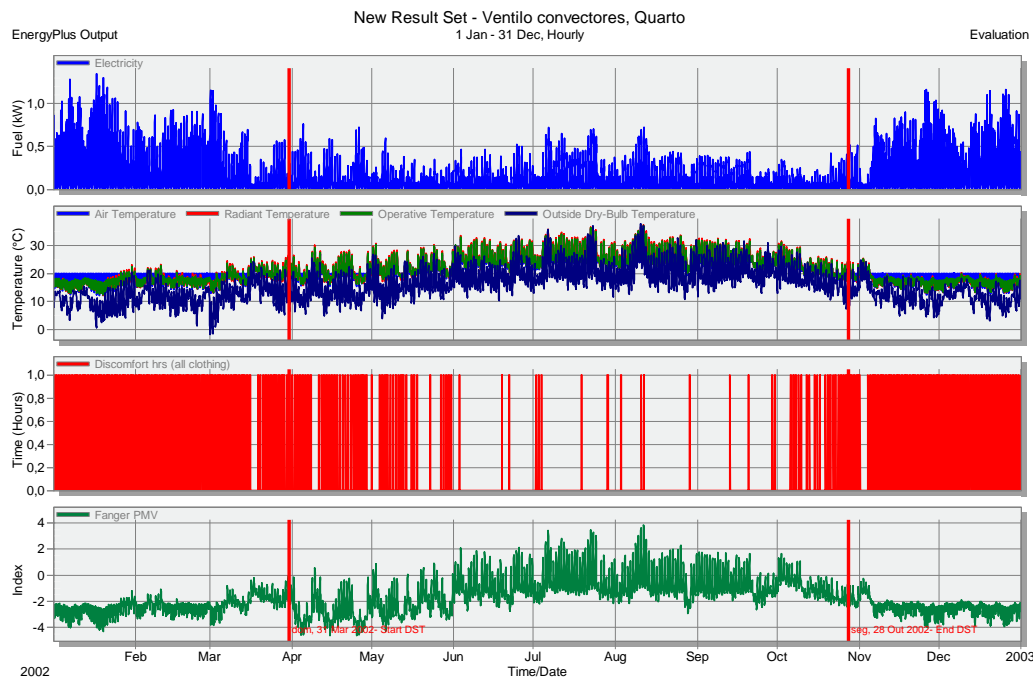


Figura A 29 - Resultados – Ventiló-convectores – Quarto - Nível I de isolamento

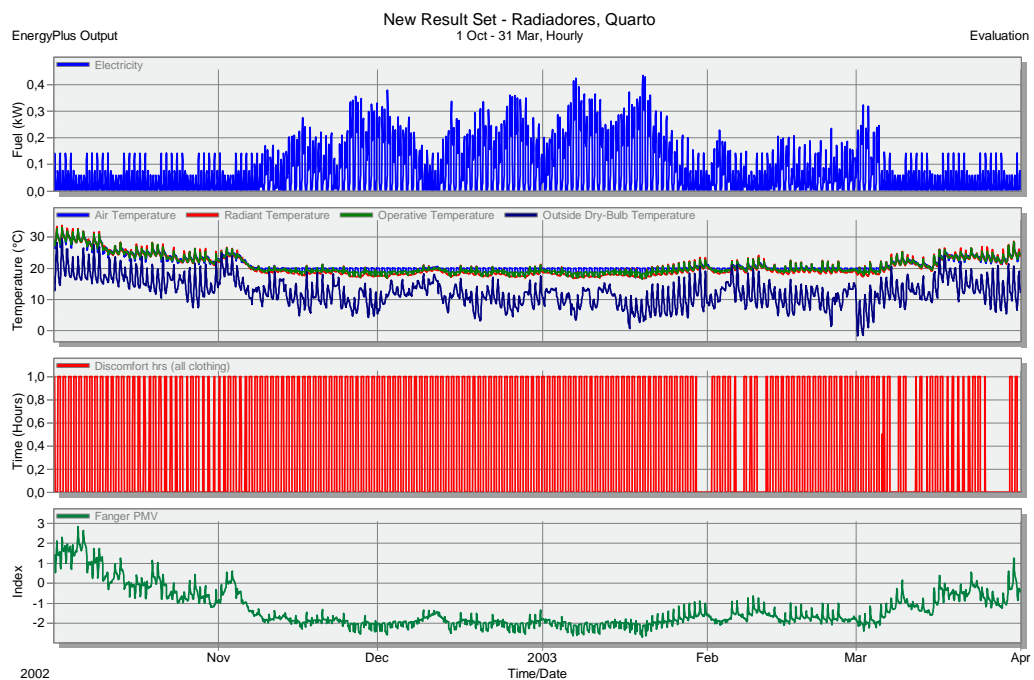


Figura A 30 - Resultados – Radiadores – Quarto - Nível I de isolamento

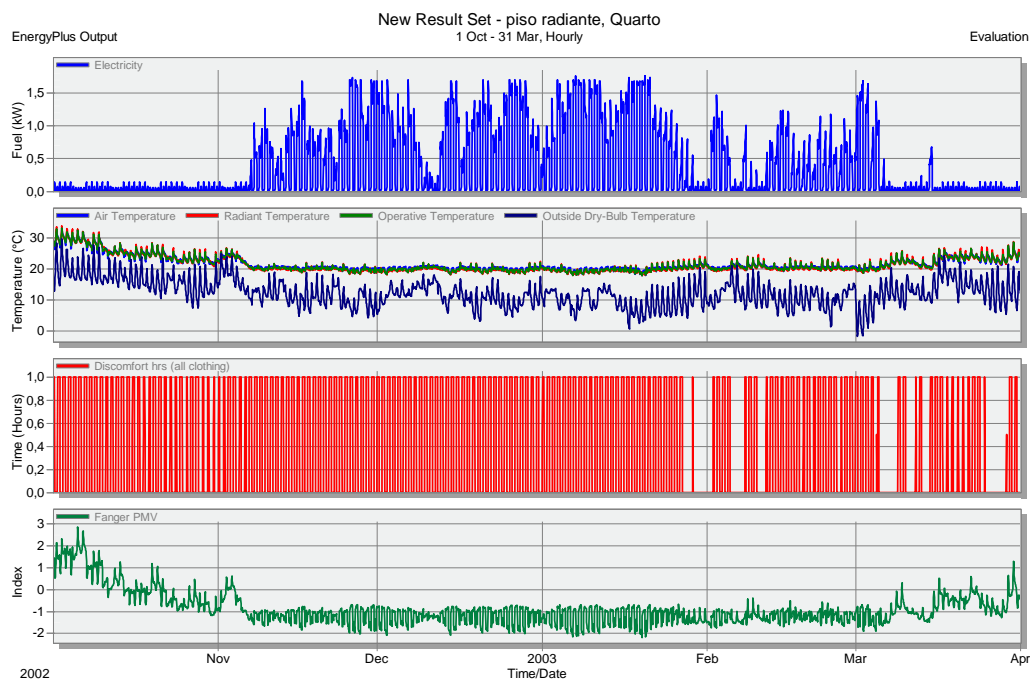


Figura A 31 - Resultados – Piso radiante – Quarto - Nível I de isolamento

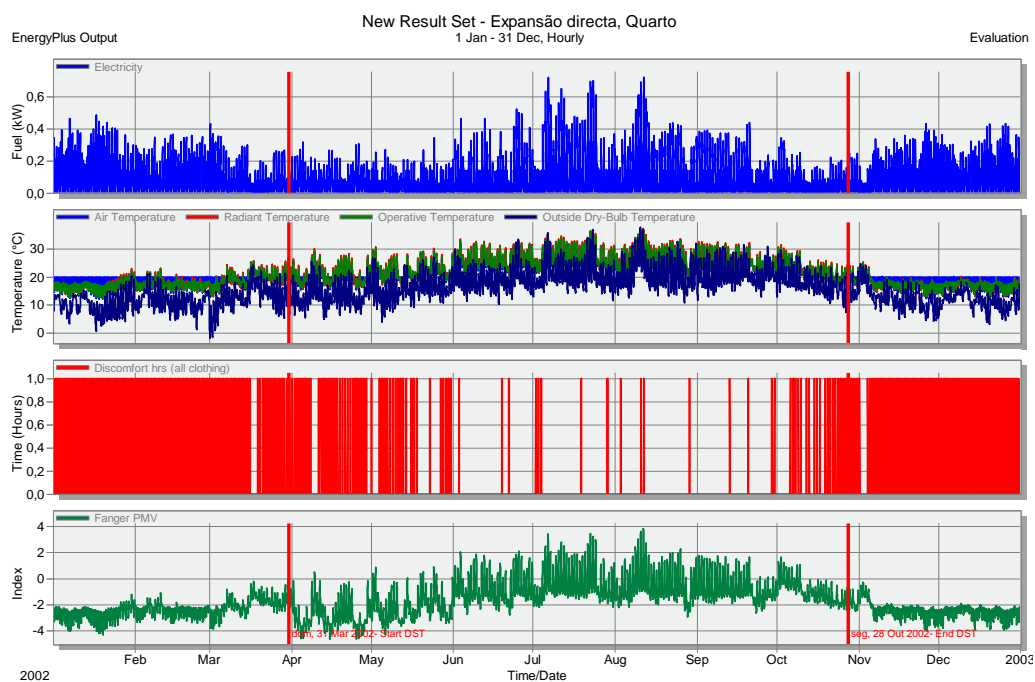


Figura A 32 - Resultados – Expansão directa – Quarto - Nível I de isolamento

Anexo B

Schedule B 1 - Quarto_Ocupação

Until: 09:00, 0.25,

Schedule:Compact,

Until: 22:00, 0,

Quarto Ocupação,

Until: 23:00, 0.25,

Fraction,

Until: 24:00, 0.75,

Through: 31 Dec,

For: WinterDesignDay AllOtherDays,

For: Weekdays SummerDesignDay,

Until: 24:00, 0;

Until: 07:00, 1,

Until: 08:00, 0.5,

Until: 09:00, 0.25,

Until: 22:00, 0,

Until: 23:00, 0.25,

Until: 24:00, 0.75,

For: Weekends,

Until: 07:00, 1,

Until: 08:00, 0.5,

Until: 09:00, 0.25,

Until: 22:00, 0,

Until: 23:00, 0.25,

Until: 24:00, 0.75,

For: Holidays,

Until: 07:00, 1,

Until: 08:00, 0.5,

Schedule B 2 - Quarto_Iluminação

Schedule:Compact,

Quarto_Iluminação,

Fraction,

Through: 31 Dec,

For: Weekdays SummerDesignDay,

Until: 07:00, 0,

Until: 10:00, 1,

Until: 19:00, 0,

Until: 23:00, 0.2,

Until: 24:00, 0,

For: Weekends,

Until: 24:00, 0,

For: Holidays,

Until: 24:00, 0,

For: WinterDesignDay AllOtherDays,

Until: 24:00, 0;

Schedule B 3 -Quarto_Aquecimento

Schedule:Compact,

Quarto Aquecimento,

Temperature,

Through: 31 Dec,

For: Weekdays SummerDesignDay
WinterDesignDay,

Until: 09:00, 1,

Until: 20:00, 0.5,

Until: 24:00, 1,

For: Weekends,

Until: 09:00, 1,

Until: 20:00, 0.5,

Until: 24:00, 1,

For: Holidays,

Until: 09:00, 1,

Until: 20:00, 0.5,

Until: 24:00, 1,

For: AllOtherDays,

Until: 24:00, 0;

Schedule B 4 -Quarto_Equipamento

Schedule:Compact,

Quarto Equipamento,

Fraction,

Through: 31 Dec,

For: Weekdays SummerDesignDay,

Until: 07:00, 0.06993007,

Until: 08:00, 0.534965035,

Until: 09:00, 1,

Until: 10:00, 0.534965035,

Until: 17:00, 0.06993007,

Until: 18:00, 0.302447552,

Until: 19:00, 0.534965035,

Until: 20:00, 0.767482517,

Until: 22:00, 1,

Until: 23:00, 0.767482517,

Until: 24:00, 0.302447552,

For: Weekends,

Until: 07:00, 0.06993007,

Until: 08:00, 0.534965035,

Until: 09:00, 1,

Until: 10:00, 0.534965035,

Until: 17:00, 0.06993007,

Until: 18:00, 0.302447552,

Until: 19:00, 0.534965035,

Until: 20:00, 0.767482517,

Until: 22:00, 1,

Until: 23:00, 0.767482517,

Until: 24:00, 0.302447552,

For: Holidays,

Until: 07:00, 0.06993007,

Until: 08:00, 0.534965035,

Until: 09:00, 1,

Until: 10:00, 0.534965035,

Until: 17:00, 0.06993007,

Until: 18:00, 0.302447552,

Until: 19:00, 0.534965035,

Until: 20:00, 0.767482517,

Until: 22:00, 1,

Until: 23:00, 0.767482517,

Until: 24:00, 0.302447552,

For: WinterDesignDay AllOtherDays,

Until: 24:00, 0;

Schedule B 5 - Quarto_Arrefecimento

Schedule:Compact,

Quarto Arrefecimento,

Temperature,

Through: 31 Dec,

For: Weekdays SummerDesignDay,

Until: 09:00, 1,

Until: 20:00, 0,

Until: 24:00, 1,

For: Weekends,

Until: 09:00, 1,

Until: 20:00, 0,

Until: 24:00, 1,

For: Holidays,

Until: 09:00, 1,

Until: 20:00, 0,

Until: 24:00, 1,

For: WinterDesignDay AllOtherDays,

Until: 24:00, 0;

Schedule B 6 - Auditório_Ocupação

For: Holidays,

Schedule:Compact,

Until: 09:00, 0,

Auditório_Ocupação,,

Until: 17:00, 1,

Fraction,

Through: 03 Jan,

For: AllDays,

Until: 09:00, 0,

Until: 17:00, 1,

Until: 24:00, 0,

Through: 20 Mar,

For: Weekdays SummerDesignDay,

Until: 07:00, 0,

Until: 08:00, 0.25,

Until: 09:00, 0.5,

Until: 12:00, 1,

Until: 14:00, 0.75,

Until: 17:00, 1,

Until: 18:00, 0.5,

Until: 19:00, 0.25,

Until: 24:00, 0,

For: Weekends,

Until: 24:00, 0,

Schedule B 7 - Auditório_Iluminação

Schedule:Compact,

Auditório Iluminação,

Fraction,

Through: 03 Jan,

For: AllDays,

Until: 09:00, 0,

Until: 17:00, 1,

Until: 24:00, 0,

Through: 20 Mar,

For: Weekdays SummerDesignDay,

Until: 07:00, 0,

Until: 19:00, 1,

Until: 24:00, 0,

For: Weekends,

Until: 24:00, 0,

For: Holidays,

Until: 09:00, 0,

Until: 17:00, 1,

Until: 24:00, 0,

For: WinterDesignDay AllOtherDays,

Until: 24:00, 0,

Through: 03 Apr,

For: AllDays,

Until: 09:00, 0,

Until: 17:00, 1,

Until: 24:00, 0,

Through: 12 Jun,

For: Weekdays SummerDesignDay,

Until: 07:00, 0,

Until: 19:00, 1,

Until: 24:00, 0,

For: Weekends,

Until: 24:00, 0,

For: Holidays,

Until: 09:00, 0,

Until: 17:00, 1,

Until: 24:00, 0,

For: WinterDesignDay AllOtherDays,

Until: 24:00, 0,

Through: 25 Sep,

For: AllDays,

Until: 09:00, 0,

Until: 17:00, 1,

Until: 24:00, 0,

Through: 11 Dec,

For: Weekdays SummerDesignDay,

Until: 07:00, 0,

Until: 19:00, 1,

Until: 24:00, 0,

For: Weekends,

Until: 24:00, 0,

For: Holidays,

Until: 09:00, 0,

Until: 17:00, 1,

Until: 24:00, 0,

For: WinterDesignDay AllOtherDays,

Until: 24:00, 0,

Through: 31 Dec,

For: AllDays,

Until: 09:00, 0,

Until: 17:00, 1,

Until: 24:00, 0;

Schedule B 8 - Auditório_Arrefecimento

Schedule:Compact,

Auditório Arrefecimento,

Temperature,

Through: 03 Jan,

For: AllDays,

Until: 07:00, 0.5,

Until: 17:00, 1,

Until: 24:00, 0.5,

Through: 20 Mar,

For: Weekdays SummerDesignDay
WinterDesignDay,

Until: 05:00, 0.5,

Until: 19:00, 1,

Until: 24:00, 0.5,

For: Weekends,

Until: 24:00, 0.5,

For: Holidays,

Until: 07:00, 0.5,

Until: 17:00, 1,

Until: 24:00, 0.5,

For: AllOtherDays,

Until: 24:00, 0,

Through: 03 Apr,

For: AllDays,

Until: 07:00, 0.5,

Until: 17:00, 1,

Until: 24:00, 0.5,

Through: 12 Jun,

For: Weekdays SummerDesignDay
WinterDesignDay,

Until: 05:00, 0.5,

Until: 19:00, 1,

Until: 24:00, 0.5,

For: Weekends,

Until: 24:00, 0.5,

For: Holidays,

Until: 07:00, 0.5,

Until: 17:00, 1,

Until: 24:00, 0.5,

For: AllOtherDays,

Until: 24:00, 0,

Through: 25 Sep,

For: AllDays,

Until: 07:00, 0.5,

Until: 24:00, 0.5;

Until: 17:00, 1,

Until: 24:00, 0.5,

Through: 11 Dec,

For: Weekdays SummerDesignDay

WinterDesignDay,

Until: 05:00, 0.5,

Until: 19:00, 1,

Until: 24:00, 0.5,

For: Weekends,

Until: 24:00, 0.5,

For: Holidays,

Until: 07:00, 0.5,

Until: 17:00, 1,

Until: 24:00, 0.5,

For: AllOtherDays,

Until: 24:00, 0,

Through: 31 Dec,

For: AllDays,

Until: 07:00, 0.5,

Until: 17:00, 1,

Schedule B 9 – Auditório_Equipamento

Schedule:Compact,

Auditório Equipamento,

Fraction,

Through: 03 Jan,

For: AllDays,

Until: 09:00, 0.052691218,

Until: 17:00, 1,

Until: 24:00, 0.052691218,

Through: 20 Mar,

For: Weekdays SummerDesignDay,

Until: 07:00, 0.052691218,

Until: 20:00, 1,

Until: 24:00, 0.052691218,

For: Weekends,

Until: 24:00, 0.052691218,

For: Holidays,

Until: 09:00, 0.052691218,

Until: 17:00, 1,

Until: 24:00, 0.052691218,

For: WinterDesignDay AllOtherDays,

Until: 24:00, 0,

Through: 03 Apr,

For: AllDays,

Until: 09:00, 0.052691218,

Until: 17:00, 1,

Until: 24:00, 0.052691218,

Through: 12 Jun,

For: Weekdays SummerDesignDay,

Until: 07:00, 0.052691218,

Until: 20:00, 1,

Until: 24:00, 0.052691218,

For: Weekends,

Until: 24:00, 0.052691218,

For: Holidays,

Until: 09:00, 0.052691218,

Until: 17:00, 1,

Until: 24:00, 0.052691218,

For: WinterDesignDay AllOtherDays,

Until: 24:00, 0,

Through: 25 Sep,

For: AllDays,

Until: 09:00, 0.052691218,

Until: 17:00, 1,

Until: 24:00, 0.052691218,

Through: 11 Dec,

For: Weekdays SummerDesignDay,

Until: 07:00, 0.052691218,

Until: 20:00, 1,

Until: 24:00, 0.052691218,

For: Weekends,

Until: 24:00, 0.052691218,

For: Holidays,

Until: 09:00, 0.052691218,

Until: 17:00, 1,

Until: 24:00, 0.052691218,

For: WinterDesignDay AllOtherDays,

Until: 24:00, 0,

Through: 31 Dec,

For: AllDays,

Until: 09:00, 0.052691218,

Until: 17:00, 1,

Until: 24:00, 0.052691218;

Schedule B 10 - Auditório_Aquecimento

Schedule:Compact,

Auditório Aquecimento,

Temperature,

Through: 03 Jan,

For: AllDays,

Until: 07:00, 0,

Until: 17:00, 1,

Until: 24:00, 0,

Through: 20 Mar,

For: Weekdays SummerDesignDay,

Until: 05:00, 0,

Until: 19:00, 1,

Until: 24:00, 0,

For: Weekends,

Until: 24:00, 0,

For: Holidays,

Until: 07:00, 0,

Until: 17:00, 1,

Until: 24:00, 0,

For: WinterDesignDay AllOtherDays,

Until: 24:00, 0,

Through: 03 Apr,

For: AllDays,

Until: 07:00, 0,

Until: 17:00, 1,

Until: 24:00, 0,

Through: 12 Jun,

For: Weekdays SummerDesignDay,

Until: 05:00, 0,

Until: 19:00, 1,

Until: 24:00, 0,

For: Weekends,

Until: 24:00, 0,

For: Holidays,

Until: 07:00, 0,

Until: 17:00, 1,

Until: 24:00, 0,

For: WinterDesignDay AllOtherDays,

Until: 24:00, 0,

Through: 25 Sep,

For: AllDays,

Until: 07:00, 0,

Until: 17:00, 1,

Until: 24:00, 0,

Through: 11 Dec,

For: Weekdays SummerDesignDay,

Until: 05:00, 0,

Until: 19:00, 1,

Until: 24:00, 0,

For: Weekends,

Until: 24:00, 0,

For: Holidays,

Until: 07:00, 0,

Until: 17:00, 1,

Until: 24:00, 0,

For: WinterDesignDay AllOtherDays,

Until: 24:00, 0,

Through: 31 Dec,

For: AllDays,

Until: 07:00, 0,

Until: 17:00, 1,

Until: 24:00, 0;

Schedule B 11 - Escritório_Ocupação

Schedule:Compact,

Escritório Ocupação,

Fraction,

Through: 31 Dec,

For: Weekdays SummerDesignDay,

Until: 07:00, 0,

Until: 08:00, 0.25,

Until: 09:00, 0.5,

Until: 12:00, 1,

Until: 14:00, 0.75,

Until: 17:00, 1,

Until: 18:00, 0.5,

Until: 19:00, 0.25,

Until: 24:00, 0,

For: Weekends,

Until: 24:00, 0,

For: Holidays,

Until: 24:00, 0,

For: WinterDesignDay AllOtherDays,

Until: 24:00, 0;

Schedule B 12 - Escritório_Iluminação

Schedule:Compact,

Escritório Iluminação,

Fraction,

Through: 31 Dec,

For: Weekdays SummerDesignDay,

Until: 07:00, 0,

Until: 19:00, 1,

Until: 24:00, 0,

For: Weekends,

Until: 24:00, 0,

For: Holidays,

Until: 24:00, 0,

For: WinterDesignDay AllOtherDays,

Until: 24:00, 0;

Schedule B 13 - Escritório_Aquecimento

Schedule:Compact,

Escritório Aquecimento,

Temperature,

Through: 31 Dec,

For: Weekdays SummerDesignDay
WinterDesignDay,

Until: 05:00, 0.5,

Until: 19:00, 1,

Until: 24:00, 0.5,

For: Weekends,

Until: 24:00, 0.5,

For: Holidays,

Until: 24:00, 0.5,

For: AllOtherDays,

Until: 24:00, 0;

Schedule B 14 - Escritório_Equipamento

Schedule:Compact,

Escritório Equipamento,

Fraction,

Through: 31 Dec,

For: Weekdays SummerDesignDay,

Until: 07:00, 0.053941909,

Until: 20:00, 1,

Until: 24:00, 0.053941909,

For: Weekends,

Until: 24:00, 0.053941909,

For: Holidays,

Until: 24:00, 0.053941909,

For: WinterDesignDay AllOtherDays,

Until: 24:00, 0;

Schedule B 15 - Escritório_Arrefecimento

Schedule:Compact,

Escritório Arrefecimento,

Temperature,

Through: 31 Dec,

For: Weekdays SummerDesignDay,

Until: 05:00, 0,

Until: 19:00, 1,

Until: 24:00, 0,

For: Weekends,

Until: 24:00, 0,

For: Holidays,

Until: 24:00, 0,

For: WinterDesignDay AllOtherDays,

Until: 24:00, 0;